

电工电子名家畅销书系

# 图解PLC技术一点通

李长军　关开芹　编著





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

电工电子名家畅销书系

# 图解 PLC 技术一点通

李长军　关开芹　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是“电工电子名家畅销书系”之一。本书共分八章，以三菱FX系列PLC为例进行介绍。第一章为PLC的基础知识、第二章为PLC编程语言与编程软件、第三章为FX系列PLC的基本控制指令、第四章为FX系列PLC的步进顺序控制、第五章为三菱FX系列PLC的功能指令、第六章为PLC的模拟量控制、第七章为PLC通信控制、第八章为PLC控制系统的应用实例。

本书的编写注重实用性、突出应用能力的提高，起点低，内容结构完整，条理清晰，语言通俗、趣味性强，图文结合，易学易懂，结构安排符合认知规律。

本书适合从事自动化应用的电气技术人员阅读，也可作为大中专院校、技校及职业院校电气专业的教材和参考书使用。

**图书在版编目（CIP）数据**

图解PLC技术一点通/李长军，关开芹编著. —北京：机械工业出版社，2013.10（2014.11重印）

（电工电子名家畅销书系）

ISBN 978-7-111-43994-3

Ⅰ.①图…　Ⅱ.①李…②关…　Ⅲ.①plc技术-图解　Ⅳ.①TM571.6-64

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第214561号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：徐明煜　责任编辑：徐明煜　闾洪庆
版式设计：常天培　责任校对：刘怡丹
封面设计：路恩中　责任印制：杨　曦
北京市四季青双青印刷厂印刷
2014年11月第1版第2次印刷
184mm×260mm·15.5印张·351千字
标准书号：ISBN 978-7-111-43994-3
定价：39.90元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

| 电话服务 | 网络服务 |
|---|---|
| 社服务中心:(010)88361066 | 教材网:http://www.cmpedu.com |
| 销售一部:(010)68326294 | 机工官网:http://www.cmpbook.com |
| 销售二部:(010)88379649 | 机工官博:http://weibo.com/cmp1952 |
| 读者购书热线:(010)88379203 | **封面无防伪标均为盗版** |

# 出 版 说 明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要组成部分，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源和社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达400多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。

整合了强大的策划团队与作者团队资源，本丛书特色鲜明：①涵盖了电工、电子、家电、自动化入门等细分方向，适合多行业多领域的电工电子技术人员学习；②作者精挑细选，所有作者都是行业名家，编写的都是其最擅长的领域方向图书；③内容注重实用，讲解清晰透彻，表现形式丰富新颖；④以就业为导向，以技能为目标，很多内容都是作者多年亲身实践的看家本领；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内最顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料和标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开

阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 maryxu1975@163.com。

**机械工业出版社**

# 前 言

随着科技的迅速发展，生产生活中的电气自动化程度越来越高，越来越多的人正在或者将要从事自动控制工作。由 PLC 实现的工业控制应用尤为普遍，为了让大家能跟上新技术发展，迅速掌握 PLC 技术，我们特编写了本书。

在本书的编写过程中，我们主要贯彻了以下编写原则：

1）根据职业岗位需求入手，精选内容。本书以三菱 FX2N 系列 PLC 为例，主要介绍了 PLC 的基本知识、基本指令、功能指令、通信控制和模拟量控制等，并在此基础上，深入浅出地介绍了相关的经典控制程序。

2）本书突出以“图”来说明问题。书中通过用不同形式的图片和表格，让读者轻松、快速、直观地学习 PLC 的有关知识，尽快适应电气工作岗位的需求。

3）本书突出以技能为主，以能力为本位，淡化理论，强化实用性。书中较好地处理了理论与实践技能的关系，在“理论够用”的基础上，突出应用性和职业性的特点，注重分析实际问题、解决实际问题能力的培养。

4）本书以“名师点拨”的形式，将应用过程中遇到的典型问题进行重点解决、特别指导，为初学者答疑解惑，使其在最短的时间内掌握 PLC 知识。

本书突出职业岗位教育特色，可作为初、中、高等电气技术人员指导用书和中等职业学校、高职院校电类专业参考用书。

本书主要由李长军、关开芹编写。参加编写的人员还有李长城、闫玉玲、沈东辉、王圣伟、孙滨、郭庆玲、卢旭辰、肖云。

由于作者水平有限，书中错漏之处在所难免，恳切希望广大读者对本书提出宝贵的意见和建议，发送到邮箱 lydgxh@163.com，以便今后加以修改完善。

# 目　录

出版说明

前言

第一章　PLC 的基础知识 …… 1

第一节　PLC 介绍 …… 1
一、PLC 的定义 …… 1
二、常用的 PLC …… 1
三、PLC 的特点、性能指标及分类 …… 4
四、PLC 的基本结构 …… 6
五、PLC 的工作原理 …… 9
六、PLC 的编程元件 …… 11
【名师点拨】 认识 PLC …… 15
第二节　PLC 常用外部设备与接线 …… 18
一、PLC 常用输入设备与接线 …… 18
二、PLC 常用输出设备与接线 …… 21
【名师点拨】 初学 PLC 接线常遇到的问题与对策 …… 24

第二章　PLC 编程语言与编程软件 …… 27

第一节　编程语言 …… 27
一、梯形图（LAD） …… 27
二、指令表（IL） …… 29
三、功能块图（FBD） …… 29
四、顺序功能图（SFC） …… 30
五、结构化文本（ST） …… 30
第二节　三菱编程软件 GX Developer 的安装 …… 30

一、GX Developer Ver. 8 中文编程软件的安装 …… 30
二、GX Simulator6 中文仿真软件的安装 …… 33
【名师点拨】 初学安装编程软件常遇到的问题与对策 …… 36
第三节　三菱编程软件 GX Developer 的使用 …… 37
一、GX Developer 软件界面 …… 37
二、创建新工程 …… 39
三、梯形图编辑 …… 42
四、程序的检查、下载和上传 …… 44
五、程序的运行及监控 …… 46
【名师点拨】 PLC 下载程序时出现通信失败的原因与对策 …… 51
第四节　三菱仿真软件 GX Simulator 的使用 …… 53
一、启动仿真 …… 53
二、软元件的操作与监控 …… 54
三、元件的状态和时序图监控 …… 55
四、PLC 停止运行 …… 57
【名师点拨】 初学者学习 PLC 应具备哪些设备 …… 58

**第三章　FX 系列 PLC 的基本控制指令 …… 59**

第一节　基本逻辑指令 …… 60
一、基本的连接与驱动指令 …… 60
二、置位与复位指令 …… 62
三、脉冲微分指令 …… 63
四、其他基本指令 …… 63
【名师点拨一】 并行输出、纵接输出和多路输出 …… 64
【名师点拨二】 基本逻辑指令的应用 …… 68
第二节　定时器与计数器 …… 70
一、定时器 …… 71
二、计数器 …… 72
【名师点拨】 用定时器与计数器实现的时间控制程序 …… 73
第三节　梯形图的编程原则与编程方法 …… 77
一、梯形图的编程原则 …… 77
二、PLC 的基本编程方法 …… 79
【名师点拨】 梯形图编程的常见问题与处理方法 …… 81
第四节　小型 PLC 控制系统的设计 …… 82
一、控制系统设计的步骤 …… 82
二、控制系统设计的注意事项 …… 85

【名师点拨】 基本指令编程实例 …… 86

第四章 FX 系列 PLC 的步进顺序控制 …… 95

第一节 顺序控制与功能图 …… 95
一、顺序控制概述 …… 95
二、顺序功能图的基本结构 …… 95
【名师点拨】 初学顺序控制应注意的几个问题 …… 97
第二节 步进指令与步进梯形图 …… 98
一、步进指令与状态元件 …… 98
二、步进指令的梯形图编程方法 …… 98
【名师点拨】 步进指令使用时的注意事项 …… 99
第三节 单序列步进顺序控制 …… 100
【名师点拨一】 液料混合控制系统 …… 100
【名师点拨二】 单序列拓展——多周期及加入停止的操作 …… 103
第四节 选择序列步进顺序控制 …… 106
【名师点拨】 简易洗车控制系统 …… 107
第五节 并行序列步进顺序控制 …… 109
【名师点拨一】 组合钻床控制系统 …… 111
【名师点拨二】 步进顺序控制综合应用——多种工作方式 …… 114

第五章 三菱 FX 系列 PLC 的功能指令 …… 122

第一节 功能指令的基本知识 …… 122
一、位元件和字元件 …… 122
二、功能指令的格式 …… 122
三、数据寄存器（D）和变址寄存器（V、Z） …… 124
四、数制与码制 …… 125
第二节 数据传送类指令 …… 127
一、MOV、BMOV 指令 …… 127
二、XCH 指令 …… 128
三、BCD、BIN 指令 …… 129
【名师点拨】 数据传送类指令的应用 …… 130
第三节 数据比较类指令 …… 132
一、CMP 指令 …… 132
二、ZCP 指令 …… 133
【名师点拨】 数据比较类指令的应用 …… 134
第四节 循环移位类指令 …… 136

一、ROR、ROL 指令 …… 136
二、RCR、RCL 指令 …… 136
三、SFTR、SFTL 指令 …… 137
【名师点拨】 循环移位类指令的应用 …… 138
第五节　数据处理类指令 …… 139
一、ZRST 指令 …… 139
二、DECO、ENCO、BON 指令 …… 139
【名师点拨】 数据处理类指令的应用 …… 141
第六节　四则运算指令 …… 142
一、ADD、SUB 指令 …… 142
二、MUL、DIV 指令 …… 143
三、INC、DEC 指令 …… 144
【名师点拨】 四则运算指令的应用 …… 145
第七节　跳转与循环程序 …… 147
一、CJ 指令 …… 147
二、FOR、NEXT 指令 …… 148
【名师点拨】 跳转与循环指令的应用 …… 149
第八节　中断与子程序 …… 150
一、中断与中断指针 …… 150
二、EI、DI、IRET 指令 …… 150
【名师点拨】 中断与子程序的应用 …… 151
第九节　高速处理类指令 …… 152
一、REF、REFF 指令 …… 152
二、高速计数器 …… 153
三、高速计数器的应用 …… 154
四、HSCS、HSCR 指令 …… 156
五、SPD 指令 …… 157
【名师点拨】 高速计数器的应用 …… 158
第十节　脉冲输出指令 …… 159
一、PLSY 指令 …… 159
二、PLSR 指令 …… 159
【名师点拨】 脉冲输出指令的应用 …… 160

**第六章　PLC 的模拟量控制 …… 161**

第一节　模拟量控制基础知识 …… 161
一、模拟量与数字量 …… 161

二、PLC 模拟量控制系统 …… 161
三、特殊模块读/写指令 …… 162
第二节 模拟量输入模块 FX2N-2AD 的应用 …… 163
一、FX2N-2AD 介绍 …… 163
二、接线与标定 …… 164
三、缓冲存储器 BFM 的功能分配 …… 165
【名师点拨】 如何使用 FX2N-2AD 模拟量输入模块 …… 166
第三节 模拟量输入模块 FX2N-4AD 的应用 …… 168
一、FX2N-4AD 介绍 …… 168
二、接线与标定 …… 169
三、缓冲存储器 BFM 的功能分配 …… 170
四、检查与诊断 …… 176
【名师点拨】 如何使用 FX2N-4AD 模拟量输入模块 …… 177
第四节 模拟量输出模块 FX2N-2DA 的应用 …… 182
一、FX2N-2DA 介绍 …… 182
二、接线与标定 …… 183
三、缓冲存储器 BFM 的功能分配 …… 184
【名师点拨】 如何使用 FX2N-2DA 模拟量输出模块 …… 185
第五节 模拟量输出模块 FX2N-4DA 的应用 …… 187
一、FX2N-4DA 介绍 …… 187
二、接线与标定 …… 188
三、缓冲存储器 BFM 的功能分配 …… 189
四、检查与诊断 …… 192
【名师点拨】 如何使用 FX2N-4DA 模拟量输出模块 …… 193
第六节 温度传感器用模拟量输入模块 FX2N-4AD-PT 的应用 …… 195
一、FX2N-4AD-PT 介绍 …… 195
二、接线与标定 …… 195
三、缓冲存储器 BFM 的功能分配 …… 196
四、检查与诊断 …… 198
【名师点拨】 如何使用 FX2N-4AD-PT 模拟量输入模块 …… 199

**第七章 PLC 通信控制 …… 200**

第一节 通信基本知识 …… 200
一、硬件通信协议 …… 200
二、软件通信协议 …… 203
第二节 PLC 网络通信 …… 204

一、通信接口模块介绍 …… 204
二、PLC 网络的 1∶1 通信方式 …… 205
三、PLC 的 N∶N 网络通信 …… 205
四、PLC 与控制设备之间的通信方式 …… 206
【名师点拨一】 PLC 的 1∶1 网络通信控制 …… 206
【名师点拨二】 PLC 的 1∶2 网络通信控制 …… 208

**第八章　PLC 控制系统的应用实例** …… 211

实例一　CA6140 车床的 PLC 改造 …… 211
一、设备控制要求 …… 211
二、设备控制实施方案 …… 211
实例二　X62W 万能铣床的 PLC 改造 …… 215
一、设备控制要求 …… 215
二、设备控制实施方案 …… 216
实例三　PLC 控制变频器 …… 220
一、设备控制要求 …… 220
二、设备控制实施方案 …… 221
实例四　PLC 与变频器在货物升降机系统中的应用 …… 223
一、货物升降机的基本结构及控制要求 …… 223
二、货物升降机控制系统的实施方案 …… 224

**附录　PLC 功能指令简表** …… 230

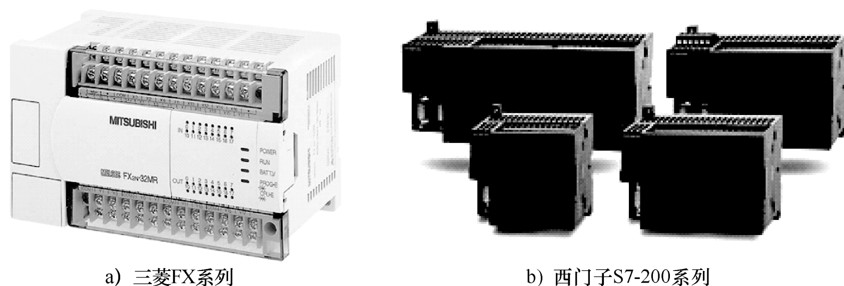
# 第 一 章

# PLC 的基础知识

## 第一节　PLC 介绍

### 一、PLC 的定义

可编程序控制器（PLC）是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计，如图 1-1 所示。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字的、模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。




a）三菱FX系列　　b）西门子S7-200系列

图 1-1　常见 PLC 外形图

### 二、常用的 PLC

1. 三菱系列 PLC

图 1-2 所示是三菱系列的 PLC 产品。20 世纪 80 年代末日本三菱公司在 F1/F2 的基础上推出了 FX 系列，在容量、速度、特殊功能、网络功能等方面都有了全面的加强。目前，FX 系列新推出的 FX3U 和 FX3G 系列的两款 PLC，其容量更大，控制功能更强。

2. 西门子 S7 系列 PLC

德国的西门子（SIEMENS）公司是欧洲著名的 PLC 制造商，其电子产品以性能精良而久负盛名。在大、中型 PLC 产品领域与美国的 A-B 公司齐名。

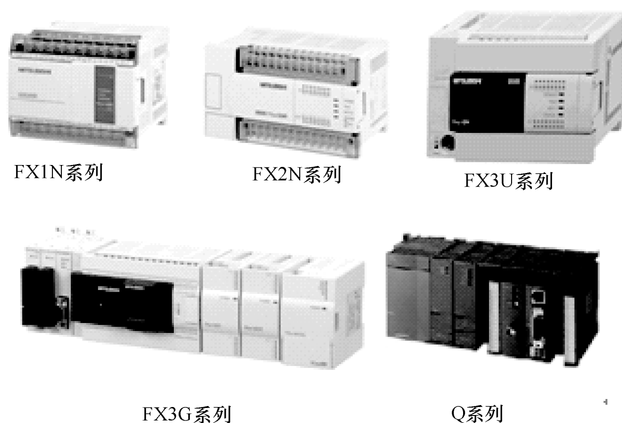



图 1-2　三菱系列部分 PLC 实物图

西门子 PLC 的主要产品有 S5 及 S7 系列，其中 S7 系列是近年来开发的代替 S5 系列 PLC 的新产品。S7 系列含 S7-200 系列、S7-300 系列及 S7-400 系列，如图 1-3 所示。其中 S7-200 系列是微型机，S7-300 系列是中、小型机，S7-400 系列是大型机。S7 系列机型性价比比较高，近年来在我国市场上的占有率极高。

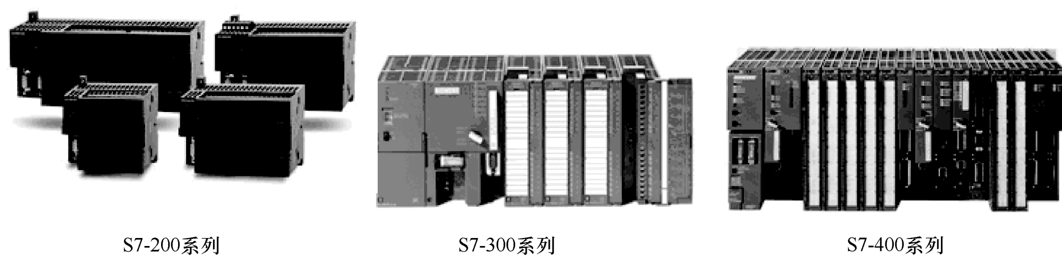



图 1-3　西门子系列部分 PLC 实物图

3. 欧姆龙系列 PLC

欧姆龙（OMRON）公司的 PLC 产品，大、中、小、微型规格齐全。微型机以 SP 系列为代表，小型机有 P 型、H 型、CPM1A、CPM2A 系列及 CPM1C、CQM1 系列等。中型机有 C200H、C200HS、C200HX、C200HG、C200HE 及 CS1 等系列，如图 1-4 所示。

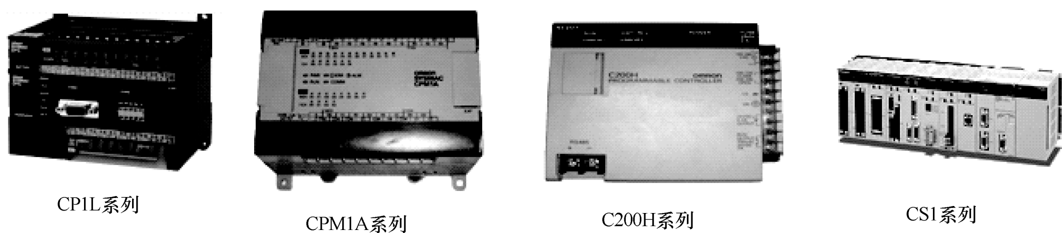
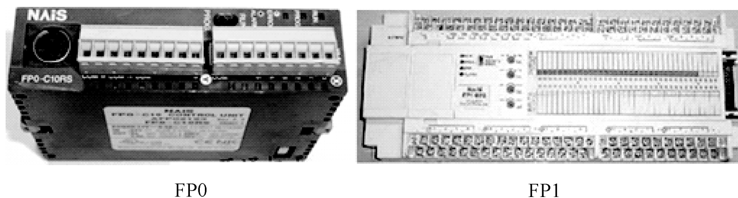



图 1-4　欧姆龙系列部分 PLC 实物图

4. 松下系列 PLC

松下公司的 PLC 产品中，FP0 为微型机，FP1 为整体式小型机，FP3 为中型机，FP5/FP10、FP10S、FP20 为大型机，如图 1-5 所示。




FP0　　　　FP1

图 1-5　松下公司的 PLC

5. 国产 PLC

我国有许多厂家及科研单位从事 PLC 的研制及开发工作，如中国科学院自动化研究所的 PLC-0088，上海机床电器厂的 CKY-40，苏州机床电器厂的 YZ-PC-001A，原机械工业部北京机械工业自动化研究所的 MPC-001/20、KB20/40，北京腾控科技有限公司的 T9，天津中环自动化仪表公司的 DJK-S-84/86/480，上海香岛机电制造有限公司的 ACMY-S80、ACMY-S256，无锡华光电子工业有限公司的 SR-10、SR-10/20 等。图 1-6 所示为国产三洋 PLC 产品；图 1-7 所示为国产益达有壳 PLC 产品；图 1-8 所示为国产益达无壳 PLC 产品；图 1-9 所示为腾控 PLC 产品。



图 1-6　国产三洋 PLC 产品

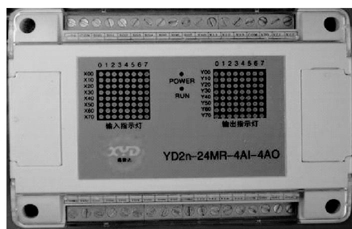



图 1-7　国产益达 YD2n 系列有壳 PLC

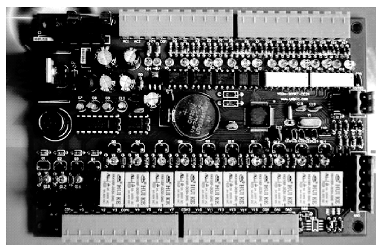


图 1-8　国产益达无壳 YD2n-30MRT-4AD-2DA

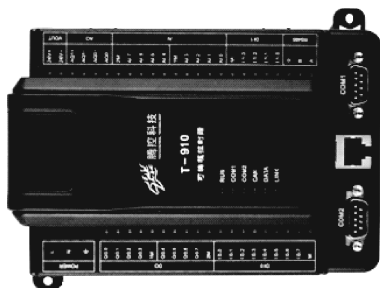


图 1-9　腾控 T-910 PLC

近年来，国产 PLC 的推广占据了部分小型 PLC 市场，国产 PLC 的特点及优势如下：

1）绝大多数是小型机，性价比较高，发展潜力较大，主要控制小规模的设备系统。

2）国产 PLC 价格非常低廉，比国外便宜1/3 以上。

3）PLC 功能及稳定性相当成熟，一般小型设备的控制功能都能满足。

4）其编程软件与国外某些品牌非常类似，虽然形式上稍有不同，但是学过国外 PLC 的技术人员只需简单看一下相关手册就能使用。

## 三、PLC 的特点、性能指标及分类

1. PLC 的特点

1）高可靠性。高可靠性是 PLC 最突出的特点之一。由于工业生产过程是昼夜连续的，这就对用于工业生产过程的控制器提出了高可靠性的要求。它的平均故障间隔时间为 3～5 万 h 以上。

2）灵活性。电气设备配置了 PLC 以后，在硬件设备基本不变的情况下，只需编写不同应用软件程序即可满足不同的控制要求，且可以用一台 PLC 控制几台操作方式完全不同的设备。

3）便于改进和修正。相对于传统的电气控制电路，PLC 为改进和修正原设计提供了极其方便的手段。以前也许要花费几周进行的改造，现在只需几分钟就可以完成。

4）触点利用率提高。传统电路中一个继电器只能提供几个触点用于联锁，但是在 PLC 中，一个输入开关量或程序中的一个“线圈”可提供给用户任意多个联锁触点。也就是说，触点在程序中的使用次数不受限制。

5）丰富的 I/O 接口。PLC 除了具有计算机的基本部分（如 CPU、存储器等）以外，还有丰富的 I/O 接口模块。对不同的现场信号都有相应的 I/O 模块与现场器件或设备连接。

6）模拟调试。PLC 能对所控功能在实验室内进行模拟调试，缩短现场的调试时间，而传统电气电路是无法在实验室进行调试的，只能花费大量的现场调试时间。

7）对现场进行微观监视。在 PLC 系统中，操作人员能通过显示器观测到所控每个触点的运行情况，随时监视事故发生点。

8）快速动作。传统继电器触点的响应时间一般需要几百毫秒，而 PLC 的触点的反应很快，内部是微秒级的，外部是毫秒级的。

9）体积小、质量轻、功耗低。由于 PLC 内部采用半导体集成电路，与传统控制系统相比较，其体积小、质量轻、功耗低。

10）编程简单、使用方便。PLC 采用面向控制过程的方式，目前的 PLC 大多采用梯形图语言的编程方式，它继承了传统控制电路清晰直观的特点，考虑到大多数电气技术人员的读图习惯及应用微机的水平，很容易被技术人员所接受。

2. 性能指标

（1）硬件指标

硬件指标主要包括环境温度、环境湿度、抗振、抗冲击力、抗噪声干扰、耐压、接地要求和使用环境等。由于 PLC 是专门为适应恶劣的工业环境而设计的，因此 PLC 一般都

能满足以上硬件要求，如 PLC 一般在下列条件下工作：温度 0 ~ 55℃，湿度小于 80%。

（2）软件指标

PLC 的软件指标通常从以下几个方面进行描述：

1）编程语言。不同机型的 PLC，具有不同的编程语言。常用的编程语言有梯形图、指令表和控制系统流程图三种。

2）用户存储器容量和类型。用户存储器用来存储用户通过编程器输入的程序。其存储容量通常以字或步为单位计算，例如 FX2 的存储容量为 2k 步。常用的用户程序存储器类型有 RAM、EEPROM 和 EPROM 三种。

3）I/O 总数。PLC 有开关量和模拟量两种输入、输出。对开关量输入/输出（I/O）总数，通常用最大 I/O 点数表示；对模拟量的 I/O 总数，通常用最大 I/O 通道数来表示。

4）指令数。指令数用来表示 PLC 的功能，一般指令的数量越多，其功能就越强大。

5）软元件的种类和点数。软元件是指辅助继电器（M）、定时器（T）、计数器（C）、状态继电器（S）、数据寄存器（D）和各种特殊继电器等。

6）扫描速度。扫描速度以“μs/步”表示。例如，0.48μs/步表示扫描一步用户程序所需要的时间为 0.48μs。PLC 的扫描速度越快，其输出对输入的响应越快。

7）其他指标。如 PLC 的运行方式、输入/输出方式、自诊断功能、通信联网功能、远程监控等。

3. PLC 的分类

（1）按结构形式分类

PLC 按结构形式可分为整体式和模块式两种。

1）整体式。整体式 PLC 是将电源、中央处理器、输入/输出部件等集中配置在一起，有的甚至全部安装在一块印制电路板上。整体式 PLC 结构紧凑、体积小、重量轻、价格低、I/O 点数固定、使用不灵活。小型的 PLC 常使用这种结构。

2）模块式。模块式 PLC 是把 PLC 的各部分以模块形式分开，如电源模块、CPU 模块、输入模块、输出模块等。把这些模块插入机架底板上，组装在一个机架内。这种结构配置灵活、装配方便、便于扩展。一般中型和大型 PLC 常采用这种结构。

（2）按输入、输出点数和存储容量分类

按输入、输出点数和存储容量来分，PLC 大致可分为大、中、小型三种。

1）小型 PLC。小型 PLC 的输入、输出点数在 256 点以下，单 CPU、8 位或 16 位处理器，用户程序存储容量在 4KB 以下。目前，常见的小型 PLC 有美国通用电气（GE）公司的 GE-Ⅰ型，美国德州仪器公司的 TI100 型，日本三菱电气公司的 F 型、F1 型、F2 型，日本立石公司（欧姆龙）的 C20、C40 型，德国西门子公司的 S7-200 系列等。

2）中型 PLC。中型 PLC 的输入、输出点数在 256 ~ 2048 点之间，双 CPU，用户程序存储容量一般为 2 ~ 10KB。目前，常见的中型 PLC 有美国通用电气（GE）公司的 GE-Ⅲ型，德国西门子公司的 S7-300 系列、SU-5 型、SU-6 型，日本立石公司（欧姆龙）的 C500 型，无锡华光电子工业有限公司的 SR-400 型等。

3）大型 PLC。大型 PLC 的输入、输出点数在 2048 点以上，多 CPU、16 位或 32 位处

理器，用户程序存储容量达10KB以上。目前常见的大型PLC有美国通用电气（GE）公司的GE-Ⅳ型，德国西门子公司的S7-400系列，日本立石公司（欧姆龙）的C2000型，日本三菱电气公司的K3等。

（3）按功能分类

按PLC功能的大小来分，PLC一般可分为低档机、中档机和高档机三种。其功能如下：

1）低档PLC具有逻辑运算、定时、计数等功能。有的还增设模拟量处理、算术运算、数据传送等功能。

2）中档PLC除具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送等功能，可完成既有开关量又有模拟量控制的任务。

3）高档PLC增设有带符号算术运算及矩阵运算等功能，其运算能力更强。此外，还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能，并能进行远程控制、构成分布式控制系统，成为整个工厂的自动化网络。

## 四、PLC的基本结构

从PLC的定义可知，PLC实质上是一种工业控制计算机，有着与通用计算机相类似的结构，PLC也是由硬件和软件两大部分组成。

1. PLC硬件结构

PLC硬件结构主要由中央处理器（CPU）、存储器、输入/输出单元（I/O接口）、扩展接口、通信接口及电源等组成，如图1-10所示。

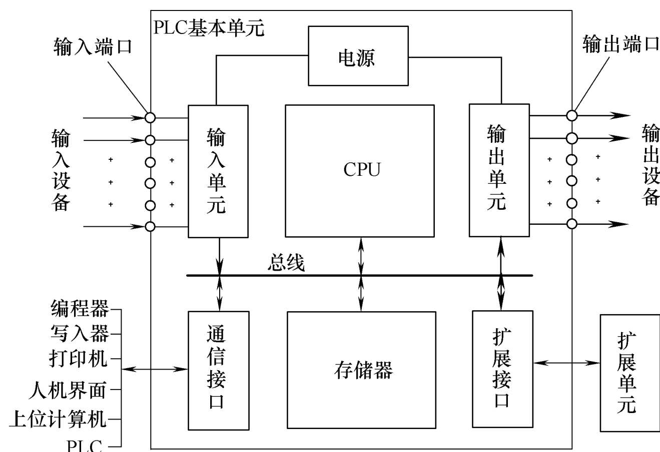



图1-10　PLC硬件结构

（1）中央处理器（CPU）

CPU是PLC的逻辑运算和控制指挥中心，它通过控制总线、地址总线和数据总线与存储器、输入/输出单元、通信接口等联系。CPU由通用微处理器、单片机或位片式微处理器组成。

（2）存储器

存储器主要用来存放系统程序、用户程序以及工作数据。PLC 的存储器 ROM（只读存储器）中固化了系统程序，用户不能更改其中的内容。存储器 RAM（随机存取存储器）中存放用户程序和工作数据，用户可对用户程序进行修改。为保证掉电时不会丢失 RAM 存储的信息，一般用锂电池作备用电源供电。

（3）输入/输出单元（I/O 接口）

输入/输出单元通常也称为输入/输出接口（I/O 接口），是 PLC 与工业生产现场之间连接的部件。

1）输入接口。

输入接口的作用是将用户输入设备产生的信号（开关量输入或模拟量输入），经过光电隔离、滤波和电平转换等处理，变成 CPU 能够接收和处理的信号，并送给输入映像寄存器。

为了防止各种干扰信号和高电压信号进入 PLC，输入接口电路一般由光电耦合电路进行电气隔离，由 RC 滤波器消除输入触点的抖动和外部噪声干扰。

PLC 输入接口电路有直流输入、交流输入和交流/直流混合输入三种。输入接口的电源可以由外部提供，也可以由 PLC 内部提供。

图 1-11 所示为直流输入接口电路，图中只画出对应于一个点的输入电路，各个输入点所对应的输入电路均相同。其中外接的直流电源极性可以为任意极性。

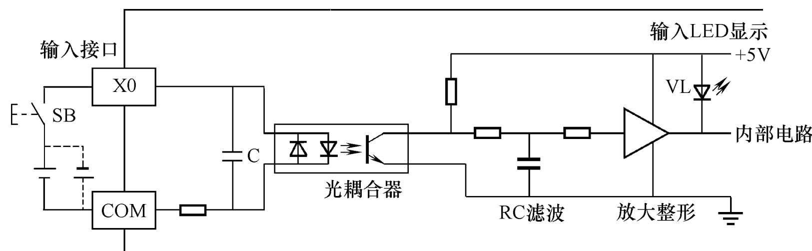



图 1-11　直流输入接口电路

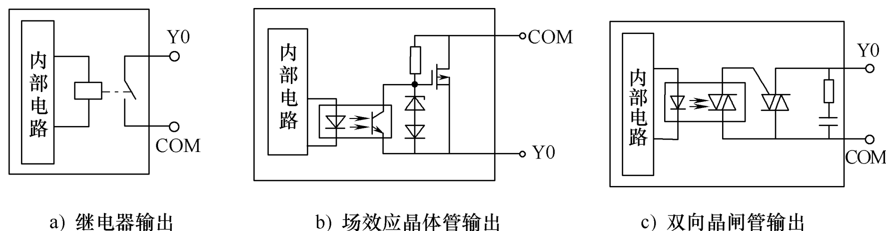
图 1-11 中，SB 为输入元件按钮，当 SB 闭合时，光耦合器中的发光二极管（LED）有驱动电流流过而导通发光，光敏晶体管接收到光线，由截止变为导通，将高电平经 RC 滤波、放大整形送入 PLC 内部电路中，同时点亮 VL。当 CPU 在循环的输入阶段输入该信号时，将该输入点对应的映像寄存器状态置 1；当 SB 断开时，VL 熄灭，对应的映像寄存器状态置 0。其中，光耦合器中的发光二极管是电流驱动元件，要有足够的能量才能驱动。而干扰信号虽然有的电压值很高，但能量较小，不能使发光二极管导通发光，所以不能进入 PLC 内，实现了电气隔离。

2）输出接口。

输出接口的作用是将经过 CPU 处理的信号通过光电隔离和功率放大等处理，转换成外部设备所需要的驱动信号（数字量输出或模拟量输出），以驱动如接触器、指示灯、报

警器、电磁阀、电磁铁、调节阀、调速装置等各种执行机构。

输出接口电路就是 PLC 的负载驱动回路。为适应控制的需要，输出接口的形式有继电器输出型、大功率晶体管或场效应晶体管（MOSFET）输出型及双向晶闸管输出型三种，如图 1-12 所示。为提高 PLC 抗干扰能力，每种输出电路都采用了光电或电气隔离技术。




a）继电器输出　b）场效应晶体管输出　c）双向晶闸管输出

图 1-12　输出接口的形式

图 1-12a 所示的继电器输出型为有触点的输出方式，既可驱动直流负载，又可驱动交流负载，驱动负载的能力在 2A 左右。其优点是适用电压范围比较宽，导通压降小，承受瞬时过电压和过电流的能力强。其缺点是动作速度较慢，响应时间长，动作频率低。建议在输出量变化不频繁时优先选用，不能用于高速脉冲的输出。其电路工作原理是：当内部电路的状态为 1 时，使继电器线圈通电，产生电磁吸力，触点闭合，则负载得电，同时点亮输出指示灯 LED（图中负载、输出指示灯 LED 未画出），表示该路输出点有输出。当内部电路的状态为 0 时，使继电器 K 的线圈无电流，触点断开，则负载断电，同时 LED 熄灭，表示该路输出点无输出。

图 1-12b 所示的场效应晶体管输出形式只可驱动直流负载，驱动负载的能力是每一个输出点为 750mA。其优点是可靠性强，执行速度快，寿命长。其缺点是过载能力差。适用于高速（可达 20kHz）、小功率直流负载。其电路工作原理是：当内部电路的状态为 1 时，光耦合器导通，使晶体管饱和导通，场效应晶体管也饱和导通，则负载得电，同时点亮输出指示灯 LED（图中负载、输出指示灯 LED 未画出），表示该路输出点有输出。当内部电路的状态为 0 时，光耦合器断开，晶体管截止，场效应晶体管也截止，则负载失电，LED 熄灭，表示该路输出点无输出。图中的稳压管用来抑制关断过电压和外部的浪涌电压，以保护场效应晶体管。

图 1-12c 所示的双向晶闸管输出形式适合驱动交流负载，驱动负载的能力为 1A 左右。由于双向晶闸管和晶体管同属于半导体材料器件，所以优缺点与晶体管输出形式的相似。双向晶闸管输出形式适用高速、大功率交流负载。其电路工作原理是：当内部电路的状态为 1 时，发光二极管导通发光，双向二极管导通，给双向晶闸管施加了触发信号，无论外接电源极性如何，双向晶闸管均导通，负载得电，同时输出指示灯 LED 点亮（图中负载、输出指示灯 LED 未画出），表示该输出点接通；当内部电路的状态为 0 时，双向晶闸管无触发信号，双向晶闸管关断，此时负载失电，LED 熄灭，表示该路输出点无输出。

（4）扩展接口

扩展接口用来扩展 PLC 的 I/O 端子数，当用户所需要的 I/O 端子数超过 PLC 基本单

元（即主机，带 CPU）的 I/O 端子数时，可通过此接口用扁平电缆线将 I/O 扩展接口（不带有 CPU）与 PLC 基本单元相连接，以增加 PLC 的 I/O 端子数，从而适应控制系统的要求。其他很多的智能单元也通过该接口与 PLC 基本单元相连。

（5）通信接口

通信接口是专用于数据通信的，主要实现"人机"对话。PLC 通过通信接口可与打印机、监视器以及其他的 PLC 或计算机等设备实现通信。

（6）电源

小型整体式 PLC 内部有开关式稳压电源，电源一方面为 CPU、I/O 接口及扩展单元提供 DC5V 电源，另一方面可为外部输入元件提供 DC24V 电源，而驱动 PLC 负载的电源由用户提供。

2. PLC 软件

PLC 软件由系统程序和用户程序组成。

（1）系统程序

系统程序由 PLC 制造厂商采用汇编语言设计编写的，固化于 ROM 型系统程序存储器中，用于控制 PLC 本身的运行，用户不能直接读写或更改。系统程序分为系统管理程序、用户指令解释程序、标准程序模块和系统调用程序。

（2）用户程序

用户程序是用户为完成某一控制任务而利用 PLC 的编程语言编制的程序。由于 PLC 是专门为工业控制而开发的装置，其主要使用者是广大电气技术人员，为了满足他们的传统习惯和掌握能力，PLC 的编程语言采用比计算机语言相对简单、易懂、形象的专用语言。PLC 的主要编程语言有梯形图和指令语句表等。

## 五、PLC 的工作原理

PLC 在本质上虽然是一台微型计算机，其工作原理与普通计算机类似，但是 PLC 的工作方式却与计算机有很大的不同。计算机一般采用等待输入—响应（运算和处理）—输出的工作方式，如果没有输入，就一直处于等待状态。而 PLC 采用的是周期性循环扫描的工作方式，每一个周期要按部就班做完全相同的工作，与是否有输入或输入是否变化无关。

1. PLC 的扫描工作方式

PLC 是一种存储程序的控制器。用户根据某一被控制对象的具体控制要求，用编程器编制好控制程序后，将程序输入（或下载）到 PLC 的用户程序存储器中存储。PLC 的控制功能就是通过运行用户程序来实现的。而 PLC 从 0 号存储地址所存放的第一条用户程序开始，在无中断或跳转的情况下，按存储地址号递增的方向顺序逐条执行用户程序，直到 END 指令结束。然后再从头开始执行，并周而复始地重复，直到停机或从运行（RUN）切换到停止（STOP）工作状态。PLC 这种执行程序的方式被称为循环扫描工作方式，整个扫描工作过程执行一遍所需的时间称为扫描周期。

2. PLC 的扫描工作过程

PLC 采用循环扫描工作方式，其扫描工作过程一般包括输入采样、执行程序、通信操

作、内部处理、输出刷新五个阶段，如图 1-13 所示。

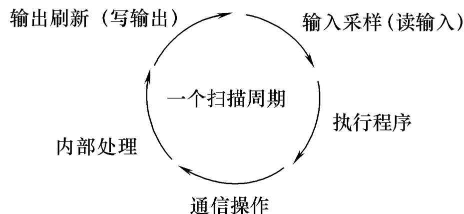


图 1-13　PLC 的扫描工作过程

（1）输入采样

输入采样又称为读输入。在每次扫描周期开始时，CPU 集中采样所有输入端的当前输入值，并将其存入内存中各对应的输入映像寄存器。此时，输入映像寄存器被刷新，那些没有使用的输入映像寄存器位被清零。此后，输入映像寄存器与外界隔离，无论输入信号如何变化，都不会再影响输入映像寄存器，其内容将一直保持到下一个扫描周期的输入采样阶段，才会被重新刷新。

（2）执行程序

CPU 执行用户程序是从第一条指令开始顺序执行，直到最后一条指令结束（遇到程序中断或跳转除外）。对于梯形图程序，是按先左后右、先上后下的语句顺序逐句扫描运算的。

当执行输入指令时，CPU 就从输入映像寄存器中读取数据，然后进行相应的运算，运算结果再存入元件映像寄存器中。当执行输出指令时，CPU 只是将输出值存放在输出映像寄存器中，并不会真正输出。

（3）通信操作

CPU 处理从通信端口接收到的任何信息，完成数据通信任务，即检查是否有计算机、编程器的通信请求，若有则进行相应处理。

（4）内部处理

在此阶段，CPU 检查其硬件和所有 I/O 模块的状态。在 RUN 模式下，还要检查用户程序存储器。若发现故障，将点亮故障指示灯和判断故障性质。若没有故障，则继续下一步骤。

（5）输出刷新

输出刷新也即写输出阶段。CPU 将存放在输出映像寄存器中所有输出继电器的状态（接通/断开）集中输出到输出锁存器中，并送给物理输出点以驱动外部负载，如指示灯、电磁阀、接触器等，这才是 PLC 真正的实际输出。

整个扫描工作过程中，PLC 对用户程序的循环扫描有输入采样、执行程序和输出刷新这三个阶段，如图 1-14 所示，图中的序号表示图中梯形图程序的执行顺序。

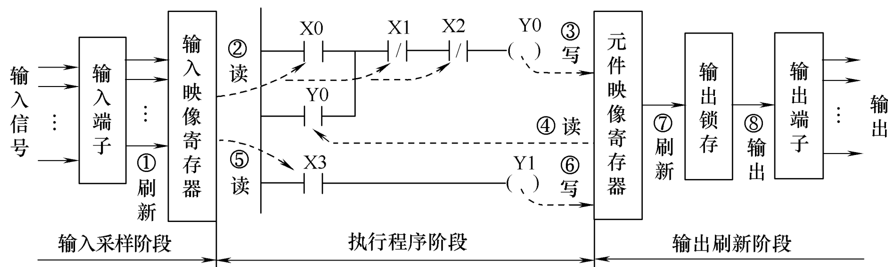


图 1-14　用户程序扫描阶段



## 六、PLC 的编程元件

PLC 内部的编程元件并不是实际的物理元件，它实质上是存储器单元的状态。单元状态为“1”，相当于元件接通；单元状态为“0”，则相当于元件断开。因此，我们称这些编程元件为“软元件”。

不同厂家、不同系列的 PLC，其内部软元件的功能和编号都不相同，三菱 FX 系列 PLC 常用的软元件，如表 1-1 所示。

**表 1-1　三菱 FX 系列 PLC 常用软元件一览表**

| 元件种类 \ PLC 型号 | | FX0S | FX1S | FX0N | FX1N | FX2N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 输入继电器 X（按八进制编号） | | X0 ~ X17 不可扩展 | X0 ~ X17 不可扩展 | X0 ~ X43 可扩展 | X0 ~ X43 可扩展 | X0 ~ X77 可扩展 |
| 输出继电器 Y（按八进制编号） | | Y0 ~ Y15 不可扩展 | Y0 ~ Y15 不可扩展 | Y0 ~ Y27 可扩展 | Y0 ~ Y27 可扩展 | Y0 ~ Y77 可扩展 |
| 辅助继电器 M | 普通用 | M0 ~ M495 | M0 ~ M383 | M0 ~ M383 | M0 ~ M383 | M0 ~ M499 |
| | 保持用 | M496 ~ M511 | M384 ~ M511 | M384 ~ M511 | M384 ~ M1535 | M500 ~ M3071 |
| | 特殊用 | M8000 ~ M8255（具体见使用手册） | | | | |
| 状态继电器 S | 初始状态用 | S0 ~ S9 | S0 ~ S9 | S0 ~ S9 | S0 ~ S9 | S0 ~ S9 |
| | 回原点用 | — | — | — | — | S10 ~ S19 |
| | 普通用 | S10 ~ S63 | S10 ~ S127 | S10 ~ S127 | S10 ~ S999 | S20 ~ S499 |
| | 保持用 | — | S0 ~ S127 | S0 ~ S127 | S0 ~ S999 | S500 ~ S899 |
| | 报警用 | — | — | — | — | S900 ~ S999 |
| 定时器 T | 100ms | T0 ~ T49 | T0 ~ T62 | T0 ~ T62 | T0 ~ T199 | T0 ~ T199 |
| | 10ms | T24 ~ T49 | T32 ~ T62 | T32 ~ T62 | T200 ~ T245 | T200 ~ T245 |
| | 1ms | — | — | T63 | — | — |
| | 1ms 积算 | — | T63 | — | T246 ~ T249 | T246 ~ T249 |
| | 100ms 积算 | — | — | — | T250 ~ T255 | T250 ~ T255 |
| 计数器 C | 普通-递增 | C0 ~ C13 | C0 ~ C15 | C0 ~ C15 | C0 ~ C15 | C0 ~ C99 |
| | 保持-递增 | C14、C15 | C16 ~ C31 | C16 ~ C31 | C16 ~ C199 | C100 ~ C199 |
| | 普通-可逆 | — | — | — | C200 ~ C219 | C200 ~ C219 |
| | 保持-可逆 | — | — | — | C220 ~ C234 | C220 ~ C234 |
| | 高速计数 | C235 ~ C255（具体见使用手册） | | | | |
| 数据寄存器 D | 普通-16 位 | D0 ~ D29 | D0 ~ D127 | D0 ~ D127 | D0 ~ D127 | D0 ~ D199 |
| | 保持-16 位 | D30、D31 | D128 ~ D255 | D128 ~ D255 | D128 ~ D7999 | D200 ~ D7999 |
| | 特殊-16 位 | D8000 ~ D8069 | D8000 ~ D8255 | D8000 ~ D8255 | D8000 ~ D8255 | D8000 ~ D8255 |
| 变址寄存器 V、Z | 变址-16 位 | V | V0 ~ V7 | V | V0 ~ V7 | V0 ~ V7 |
| | | Z | Z0 ~ Z7 | Z | Z0 ~ Z7 | Z0 ~ Z7 |

（续）

| 元件种类 \ PLC 型号 | | FX0S | FX1S | FX0N | FX1N | FX2N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 指针 N、P、I | 嵌套用 | N0 ~ N7 | N0 ~ N7 | N0 ~ N7 | N0 ~ N7 | N0 ~ N7 |
| | 跳转用 | P0 ~ P63 | P0 ~ P63 | P0 ~ P63 | P0 ~ P127 | P0 ~ P127 |
| | 输入中断 | I00 * ~ I30 * | I00 * ~ I50 * | I00 * ~ I30 * | I00 * ~ I50 * | I00 * ~ I50 * |
| | 定时中断 | — | — | — | — | I6 * ~ I8 * |
| | 计数中断 | — | — | — | — | I010 ~ I060 |
| 常数 K、H | 16 位 | K：－32768 ~ 32767 H：000 ~ FFFFH | | | | |
| | 32 位 | K：－2147483648 ~ 2147483647 H：00000000 ~ FFFFFFFF | | | | |

注：* 表示数值任取。

1. 输入继电器（X）

作用：用来接收外部输入的开关量信号，通过输入端子与外部设备相连。

编号：X000 ~ X007，X010 ~ X017，…

说明：

1）输入继电器以八进制方式编号。

2）输入继电器只能由输入驱动，不能由程序驱动。

3）一个输入继电器可以有无数的常开触点和常闭触点。

4）输入信号（ON、OFF）至少要维持一个扫描周期。

2. 输出继电器（Y）

作用：输出程序运行的结果，通过输出端子控制外部负载。

编号：Y000 ~ Y007，Y010 ~ Y017，…

说明：

1）输出继电器以八进制方式编号。

2）输出继电器只能程序驱动，不能外部驱动。

3）一个输出继电器只有一个与输出端子连接的常开触点。

4）梯形图中输出继电器的常开触点和常闭触点可以多次使用。

3. 辅助继电器（M）

作用：辅助继电器是一种内部的状态标志，相当于继电器控制系统中的中间继电器。

分类：辅助继电器通常分为通用型、断电保持型、特殊用途型三类。

说明：

1）辅助继电器以十进制方式编号。只能程序驱动，不能接收外部信号，也不能驱动外部负载。可以有无数的常开触点和常闭触点。

2）通用辅助继电器在 PLC 电源断开后，其状态将变为 OFF。当电源恢复后，除因程序使其变为 ON 外，否则它仍保持 OFF。

3）断电保持型辅助继电器，在 PLC 电源断开后，具有保持断电前瞬间状态的功能，并在恢复供电后继续断电前的状态。

4）特殊辅助继电器是具有某项特定功能的辅助继电器。FX2N 系列 PLC 常用的特殊辅助继电器如表 1-2 所示。

**表 1-2　FX2N 系列 PLC 常用的特殊辅助继电器**

| 元件号 | 名　称 | 功　能 |
|---|---|---|
| **运行监控** | | |
| M8000 | 常开触点 | 当 PLC 处于 RUN 时，其线圈一直得电 |
| M8001 | 常闭触点 | 当 PLC 处于 STOP 时，其线圈一直得电 |
| **初始脉冲** | | |
| M8002 | 常开触点 | PLC 开始运行的第一个扫描周期其得电 |
| M8003 | 常闭触点 | PLC 开始运行的第一个扫描周期其失电 |
| **时钟脉冲** | | |
| M8011 | 10ms 周期 | 接通 5ms，断 5ms |
| M8012 | 100ms 周期 | 接通 50ms，断 50ms |
| M8013 | 1s 周期 | 接通 500ms，断 500ms |
| M8014 | 1min 周期 | 接通 30s，断 30s |
| **标志脉冲** | | |
| M8020 | 零标志 | 当运算结果为 0 时，其线圈得电 |
| M8021 | 借位标志 | 减法运算的结果为负的最大值以下时，其线圈得电 |
| M8022 | 进位标志 | 加法运算或移位操作的结果发生进位时，其线圈得电 |

| 元件号 | 名　称 | 功　能 |
|---|---|---|
| **PLC 模式** | | |
| M8034 | 禁止全部输出 | 当 M8034 线圈被接通时，则 PLC 的所有输出自动断开 |
| M8035 | 强制运行模式 | 当 M8035 或 M8036 强制为 ON 时，PLC 运行，当 M8037 强制为 ON 时，PLC 停止运行 |
| M8036 | 强制运行信号 | |
| M8037 | 强制停止信号 | |
| **步进顺控** | | |
| M8040 | 禁止状态转移 | M8040 接通时，禁止状态转移 |
| M8041 | 状态转移开始 | 自动方式时从初始状态开始转移 |
| M8042 | 启动脉冲 | 启动输入时脉冲输出 |
| M8043 | 回原点完成 | 原点返回方式结束后接通 |
| M8044 | 原点条件 | 检测到机械原点时动作 |
| M8045 | 禁止输出复位 | 方式切换时，不执行全部输出的复位 |
| M8046 | STL 状态置 ON | M8047 为 ON 时若 S0～S899 中任意一处接通，则为 ON |
| M8047 | STL 状态监控有效 | 接通后，D8040～D8047 有效 |
| M8048 | 报警器接通 | M8049 接通后 S900～S999 中任意一处接通，则为 ON |

注：其他特殊辅助继电器的功能具体参见使用手册。

4. 状态继电器（S）

作用：用于编制顺序控制程序的状态标志。

分类：状态继电器有初始状态用、返回原点用、普通用、断电保持用、信号报警用五种类型。

说明：不使用步进指令时，状态继电器也可当作辅助继电器使用。

5. 定时器（T）

作用：当定时器线圈得电时，定时器从0开始计数，当计数值等于设定值时，定时器的触点动作。对应的时钟脉冲有100ms、10ms、1ms三种。

分类：定时器分为普通定时器和积算定时器（又称失电保持定时器）。具体参照表1-1。

说明：

1）定时器的设定值可用常数K，也可用数据寄存器D中的参数。K的范围1～32767。

2）普通定时器：输入断开或发生断电时，计数器和触点复位。

3）积算定时器：输入断开或发生断电时，当前值保持，只有复位接通时，计数器和触点复位。

6. 计数器（C）

作用：对内部元件X、Y、M、T、C的信号进行计数。计数器从0开始计数，计数端每来一个脉冲计数值加1，当计数值与设定值相等时，计数器触点动作。

分类：普通计数器、双向计数器、高速计数器。具体参照表1-1。

说明：

1）计数器的设定值可用常数K，也可用数据寄存器D中的参数。

2）双向计数器在间接设定参数值时，要用编号紧连在一起的两个数据寄存器。

3）高速计数器采用中断方式对特定的输入进行计数，与PLC的扫描周期无关。

7. 数据寄存器（D）

作用：用来存储PLC进行输入/输出处理、模拟量控制、位置量控制时的数据和参数。

分类：数据寄存器分为普通型、失电保持型和特殊型三种。

说明：

1）数据寄存器按十进制编号。

2）数据寄存器为16位，最高位是符号位。32位数据可用两个数据寄存器存储。

3）通用数据寄存器在PLC由RUN→STOP时，其数据全部清零。如果将特殊继电器M8033置1，则PLC由RUN→STOP时，数据可以保持。

4）保持数据寄存器只要不被改写，原有数据就不会丢失，不论电源接通与否，PLC运行与否，都不会改变寄存器的内容。

5）特殊数据寄存器用来监控PLC的运行状态，如扫描时间、电池电压等。

8. 变址寄存器（V、Z）

作用：变址寄存器是一种特殊用途的数据寄存器，相当于微机中的变址寄存器，用于改变元件的编号（变址）。

说明：变址寄存器都是16位寄存器，需要进行32位操作时，可将V、Z串联使用，Z为低位，V为高位。

9. 常数（K、H）

作用：通常用来表示定时器或计数器的设定值和当前值。



说明：十进制常数用 K 表示，如常数 123 表示为 K123。十六进制常数则用 H 表示，如常数 345 表示为 H159。

10. 指针（N、P、I）

作用：用来指示分支指令的跳转目标和中断程序的入口标号。

分类：分为分支指针、输入中断指针、定时中断指针、计数中断指针。

说明：

1）分支指针用来指示跳转指令（CJ）的跳转目标或子程序调用指令（CALL）调用子程序的入口地址。

2）中断指针：作为中断程序的入口地址标号。

**【名师点拨】 认识 PLC**

认识 FX 系列 PLC 面板

图 1-15 所示的 FX2N-32MR 小型 PLC 面板，大致可以分为四部分：输入接线端、输出接线端、操作面板和状态指示栏。

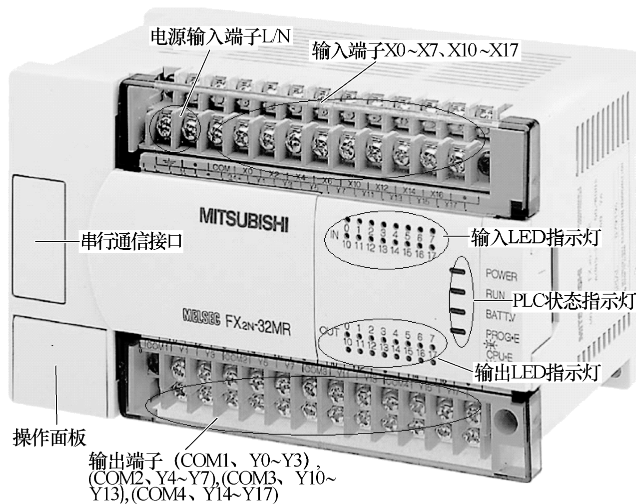
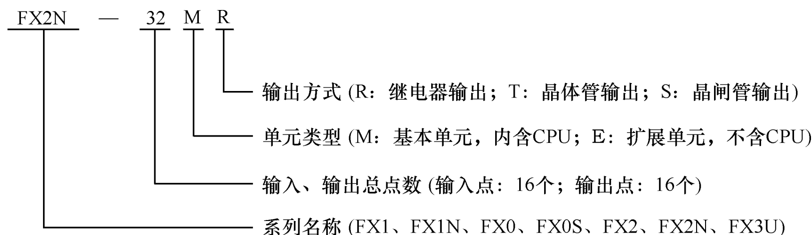



图 1-15 FX2N-32MR 小型 PLC 面板

1. 型号介绍



2. 输入接线端

输入接线端可分为电源输入端、电源输出端、输入公共端（COM）和输入接线端子（X）三部分，如图1-16所示。

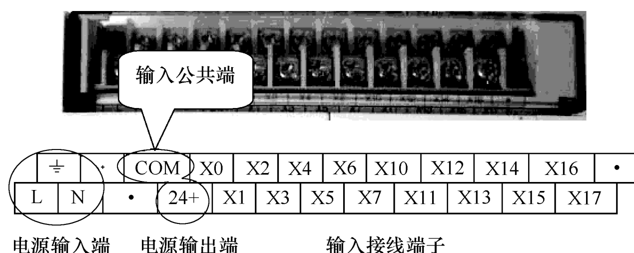



图1-16　PLC输入接线端

**电源输入端：**接线端子L接电源的相线，N接电源的中性线，PE接地。电源电压一般为交流电，单相，50Hz，100～240V，为PLC提供工作电压。

**电源输出端：**为传感器或其他小容量负载供给24V直流电源。

**输入接线端子和公共端：**在PLC控制系统中，各种按钮、开关和传感器等主令电器直接接到PLC输入接线端子和公共端之间。PLC每个输入接线端子的内部都对应一个输入继电器，形成输入接口电路，如图1-17所示。

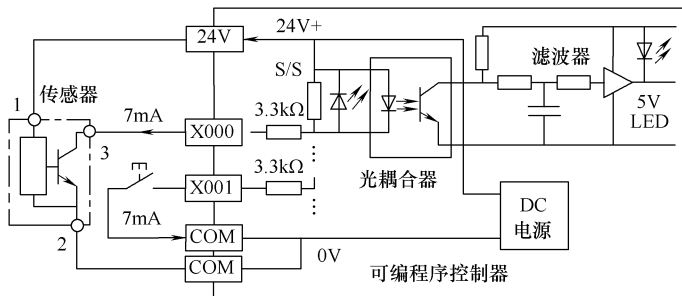



图1-17　PLC输入接口电路

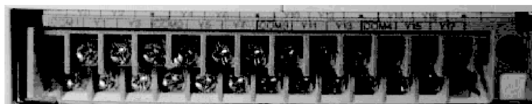
3. 输出接线端

PLC输出接线端分为公共端（COM）和输出接线端子（Y），如图1-18所示。

**输出接线端子和公共端：**FX2N-32MR小型PLC共有16个输出端子，分别与不同的COM端子组成一组，可以接不同电压等级的负载，如图1-18所示。在PLC内部，几个输出COM端子之间没有联系。PLC每个输出接线端子的内部都对应一个输出继电器，形成输出接口电路，如图1-19所示。

4. 操作面板

操作面板包括PLC工作方式选择开关、可调电位器、通信接口、选件连接插口四



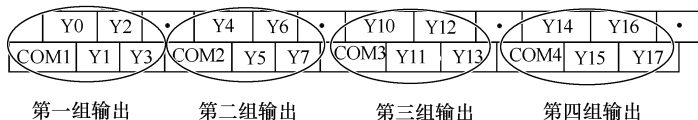



图 1-18 PLC 输出接线端

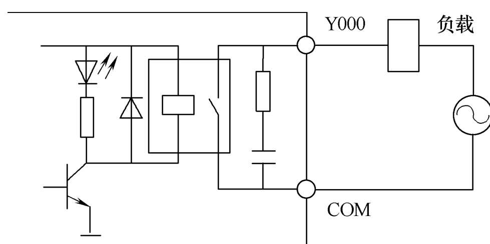



图 1-19 PLC 输出接口电路

部分，如图 1-20 所示。

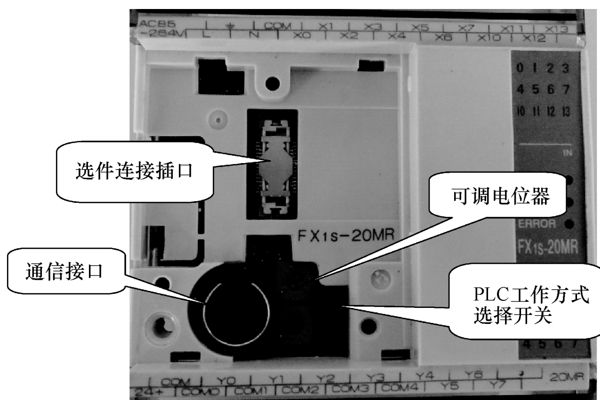



图 1-20 PLC 操作面板

**PLC 工作方式选择开关：**有 RUN 和 STOP 两档。

**可调电位器：**用于调整定时器设定的时间。

**通信接口：**用于 PLC 与计算机的通信。

**选件连接插口：**用于连接存储盒、智能扩展板等。

5. 状态指示栏

状态指示栏分为输入状态指示、输出状态指示、运行状态指示三部分，如图 1-21 所示。

**输入状态指示：**当输入端子有信号输入时，对应的 LED 灯亮。

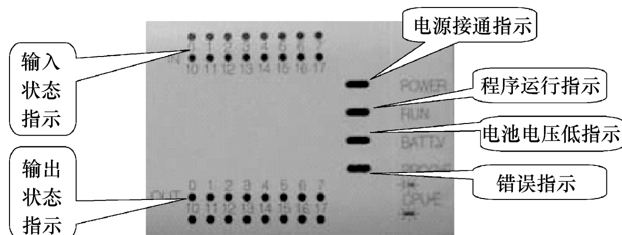



图 1-21　PLC 状态指示栏

输出状态指示：当输出端子有信号输出时，对应的 LED 灯亮。

运行状态指示：

POWER LED 亮：表示 PLC 已接通电源。

RUN LED 亮：表示 PLC 处于运行状态。

BATTV LED 亮：表示 PLC 电池电压低。

PROG-E：PLC 程序错误时指示灯会闪烁；CPU 错误时指示灯亮。

# 第二节　PLC 常用外部设备与接线

## 一、PLC 常用输入设备与接线

PLC 输入端用来接收和采集用户输入设备产生的信号，这些输入设备主要有两种类型：一类是按钮、转换开关、行程开关、接近开关、光电开关、拨码开关与继电器触点等开关量输入设备；另一类是电位器、编码器和各种变送器等模拟量输入设备。正确地理解和连接输入和输出电路，是保证 PLC 安全可靠工作的前提。

1. 按钮、转换开关输入设备与接线

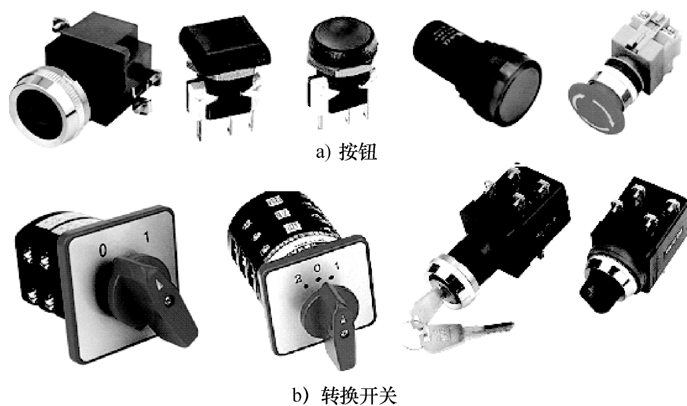
转换开关是利用按钮推动传动机构，使动触点与静触点接通或断开，并实现电路换接的开关，如图 1-22 所示是一些结构简单、应用十分广泛的按钮和转换开关，在电气自动控制电路中，主要用于手动发出控制信号，给 PLC 输入端子输送输入信号。如果我们把按钮接在 PLC 输入端子 X2 和 COM 之间、转换开关接在 PLC 输入端子 X0 和 COM 之间，其电路图如图 1-23 所示。

2. 行程开关、接近开关、光电开关、拨码开关等输入设备与接线

行程开关、接近开关、光电开关实物图如图 1-24 所示。

（1）行程开关

行程开关是利用生产机械运动部件的碰压，使其触头动作，从而将机械信号转变为电信号，使运动机械按一定的位置或行程实现自动停止、反向运动、变速运动或自动往返运动。行程开关与 PLC 输入端子的接线如图 1-25 所示。



a) 按钮
b) 转换开关

图 1-22　按钮、转换开关实物图

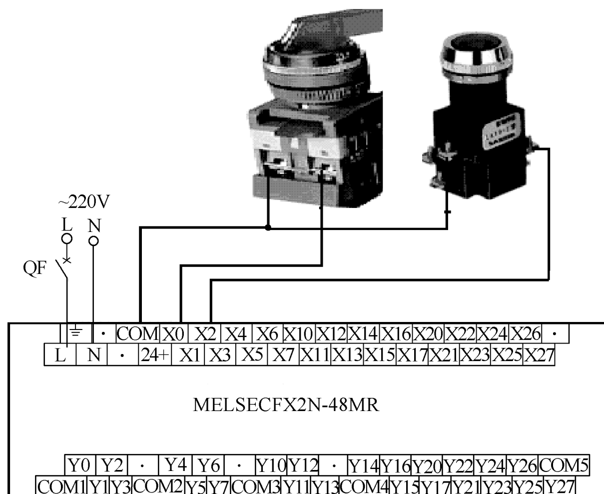


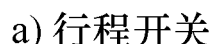
图 1-23　按钮、转换开关与 PLC 输入端子的接线示意图

（2）接近开关

接近开关可以在不与目标物实际接触的情况下检测靠近开关的金属目标物。根据操作原理，接近开关大致可以分为电磁感应的高频振荡型、磁力型和电容变化的电容型等三大类。接近开关有两线制和三线制的区别，其接线也就有两线制和三线制接线两种。

1）三线制接线。三线制信号输出有 PNP（输出高电平约 24V）和 NPN（输出低电平 0V）两种形式，其接线也分 PNP 和 NPN 两种形式。

PNP 常开型接线。PNP 接通时为高电平输出，即接通时黑线输出高电平（通常为 24V），如图 1-26a 所示的 PNP 型接近开关原理图，接近开关引出的三根线，棕线接电源正极，蓝线接电源负极，黑线为控制信号线。此为常开开关，当开关动作时黑线和棕线接通，此时负载两端加上直流电压而获电动作。




b) 接近开关

c) 光电开关

图 1-24　行程开关、接近开关与光电开关实物图




图 1-25　行程开关与 PLC 接线示意图

NPN 常开型接线。NPN 接通时为低电平输出，即接通时黑线输出低电平（通常为 0V），如图 1-26b 所示的 NPN 型接近开关原理图，此为常开开关，当开关动作时黑线和蓝线两线接通，此时负载两端加上直流电压而获电动作。

a) PNP常开型　　b) NPN常开型

图 1-26　三线制接近开关接线示意图

2）两线制接线。两线制接近开关的接线比较简单，接近开关与负载串联后接到电源，如图 1-27 所示。

a) 直流两线　　b) 交流两线

图 1-27　两线制接近开关接线示意图

（3）光电开关

光电开关是利用被检测物体对红外光束的遮光或反射，由同步回路选通而检测物体的有无，其物体不限于金属，对所有能反射光线的物体均可检测。光电开关与 PLC 接线和接

近开关与 PLC 接线相同，图 1-28 所示是三线制的 NPN 型光电开关与 PLC 的接线示意图。NPN 型三线开关引出的三根线，棕线接 PLC 传感器输出电源 +24V 端子，蓝线接 PLC 传感器输出电源负极端子 COM，黑线为控制信号线，接 PLC 输入端子 X0。

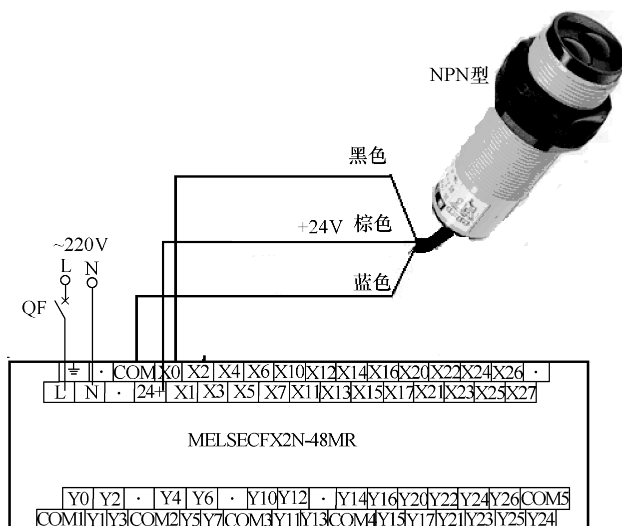



图 1-28　光电开关与 PLC 的接线图

（4）拨码开关

拨码开关在 PLC 控制系统中常常用到，图 1-29 所示为一位拨码开关的示意图。拨码开关有两种：一种是 BCD 码开关，即拨码数值为 0～9，输出为 8421BCD 码；另一种是十六进制码，即 0～F，输出为二进制码。拨码开关可以方便地进行数据变更。

如控制系统中需要经常修改数据，可使用拨码开关组成一组拨码器与 PLC 相接，如图 1-30 所示是 4 位拨码开关与 PLC 输入接口电路连接。4 位拨码器的 COM 端连在一起与 PLC 的 COM（公共）端相接。每位拨码开关的 4 条数据线按一定顺序接到 PLC 的 4 个输入点上。

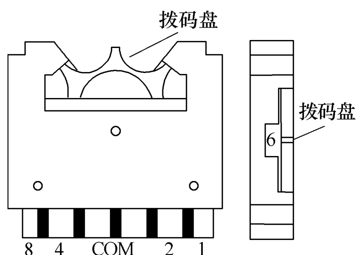



图 1-29　拨码开关示意图

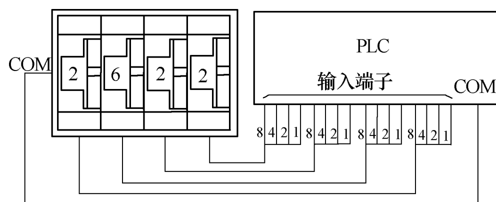



图 1-30　4 位拨码开关与 PLC 的输入端口接线

## 二、PLC 常用输出设备与接线

PLC 输出设备一般为接触器、指示灯、数码管、报警器、电磁阀、电磁铁、调节阀、

调速装置等各种执行机构。正确地连接输出电路，是保证 PLC 安全可靠工作的前提，下面逐一介绍。

1. 接触器、微型继电器与 PLC 的输出接线

接触器、微型继电器属于自动的电磁式开关，图 1-31 所示是继电器实物图。其工作原理是：当电磁线圈通入额定电压后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生足够的吸力克服弹簧反作用力将动铁心向下吸合，常开触点闭合，常闭触点断开。这种电磁式开关通常应用于传统继电器控制电路和自动化的控制电路中，在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

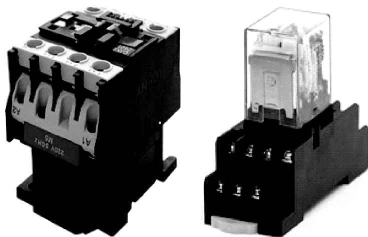


图 1-31　继电器实物图

继电器与 PLC 输出接线如图 1-32 所示。图中的电器元件线圈额定电压是交流 220V 和直流 24V，如果是直流 24V，则需要外加直流 24V 的开关电源，接线时要注意不同电压等级和性质的电源应独立接线，输出端子的公共端不能共用，如图 1-32 所示的 COM1 和 COM2 公共端不能接在一起。

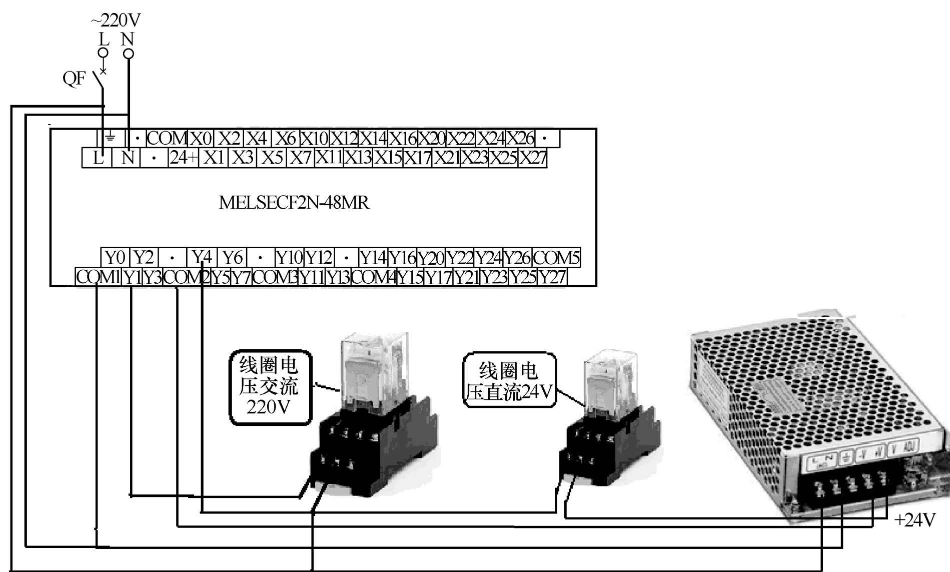



图 1-32　继电器与 PLC 输出接线

2. 电磁阀与 PLC 的输出接线

电磁阀是用来控制流体的一种自动执行器件，如图 1-33 所示。电磁阀主要用于液压与气动控制。其工作原理是：电磁阀里有密闭的腔，在不同的位置开有通孔，每个孔都通向不同的管路，腔中间是阀，两端是两块电磁铁，哪端的电磁铁线圈通电阀体就会被吸引到哪端，通过控制阀体的移动来挡住或打开孔，这样通过控制电磁铁的得电和断电来控制机械设备的运



图 1-33　电磁阀实物图

动。电磁阀与 PLC 的接线可参考继电器的接线，接线时要注意电磁阀的额定电压。

3. 信号指示灯、声光报警器与 PLC 输出接线

在工业自动化控制系统中，为了安全和运行状况的指示，常常需要接入指示信号或声光报警灯，如图 1-34 所示。与 PLC 的输出接线如图 1-35 所示，图中的电器元件额定电压为交流 220V。

a）信号指示灯　　b）声光报警灯

图 1-34　信号指示灯与声光报警器

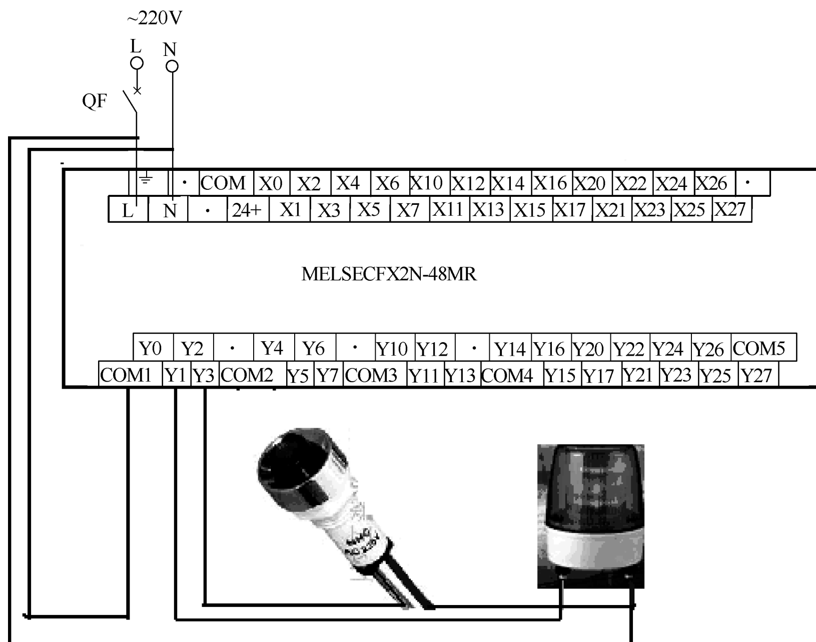



图 1-35　信号指示灯、声光报警器与 PLC 接线图

4. 数码管与 PLC 输出接线

数码管可分为七段数码管和八段数码管，是一种半导体发光器件，其基本单元是发光二极管，八段数码管由八个发光二极管组成，七段数码管由七个发光二极管组成。通过对其不同的引脚输入相对应的电流，使其发亮，可以显示十进制 0～9 的数字，也可以显示英文字母，包括十六进制中的英文 A～F。七段数码管的外形如图 1-36 所示。

七段数码管分为共阳极和共阴极，如图 1-37 所示。在共阴极结构中，各段发光二极管的阴极连在一起，将此公共点接地，某一段发光二极管的阳极为高电平时，该段发光二极管发光。共阳极的七段数码管的阳极（或正极）为八个发光二极管的阳极连接在一起，

某段发光二极管的阴极（或负极）为低电平时，该段发光二极管发光。七段共阴极数码管与 PLC 输出接线如图 1-38 所示。

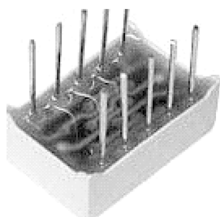
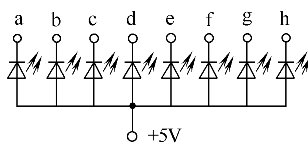
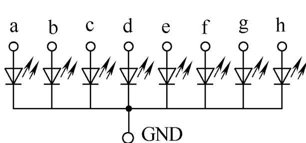



图 1-36　七段数码管外形图




a) 七段共阳极数码管




b) 七段共阴极数码管

图 1-37　七段数码管结构形式

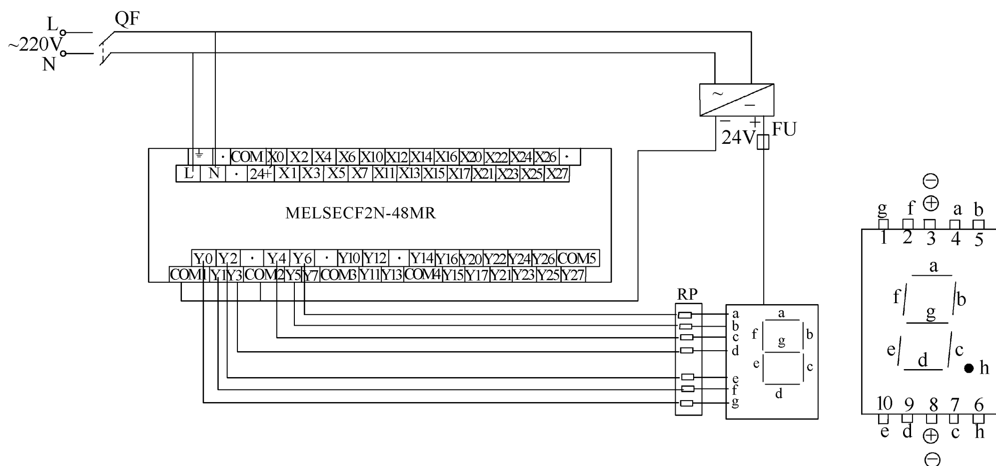



图 1-38　七段共阴极数码管与 PLC 输出接线图

**【名师点拨】　初学 PLC 接线常遇到的问题与对策**

**问题 1：** 在进行三线制 NPN 型传感器开关（接近开关）的输入端接线安装时，将电源线和输出线接反。

**原因及后果：** 若将电源线和输出线接反将无法使输入端获取信号，这是因为三线制 NPN 型接近开关输出的是低电平，如果接反了将无法使输入端获取接近开关输出的信号。

**预防措施：** 在进行三线制 NPN 型传感器开关（接近开关）的输入端接线安装时，需将接近开关输出低电平的一端接到 PLC 的输入端，另外两端分别接到 PLC 的电源上，其接线方法如图 1-39 所示。

**问题 2：** 在进行 PLC 的多个输出端接线安装时，易将交流负载和直流负载的 COM 端混淆共用。

**原因及后果：** 在进行 PLC 的多个输出端接线安装时，误将交流负载和直流负载的

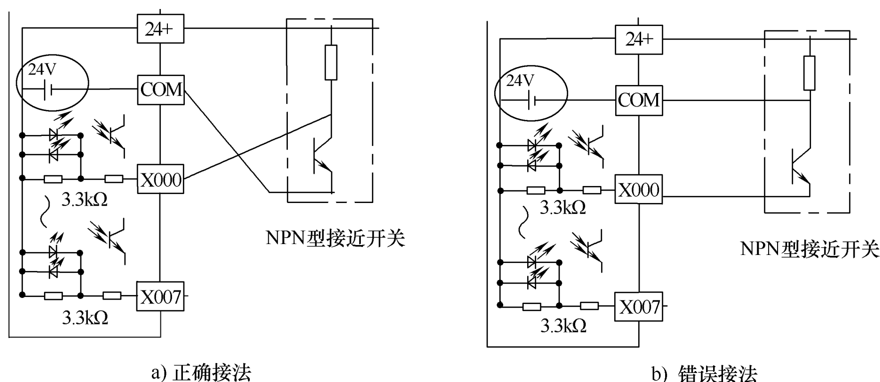



图 1-39 三线制 NPN 型传感器开关（接近开关）的输入端接线

COM 端混淆共用，将导致 PLC 输出端的内部电路损坏，严重时会损坏 PLC。

**预防措施：**在进行 PLC 的多个输出端接线安装时，应将交流负载和直流负载区分开来，分别接到不同的 COM 端上，其正确的接线方法如图 1-40 所示。

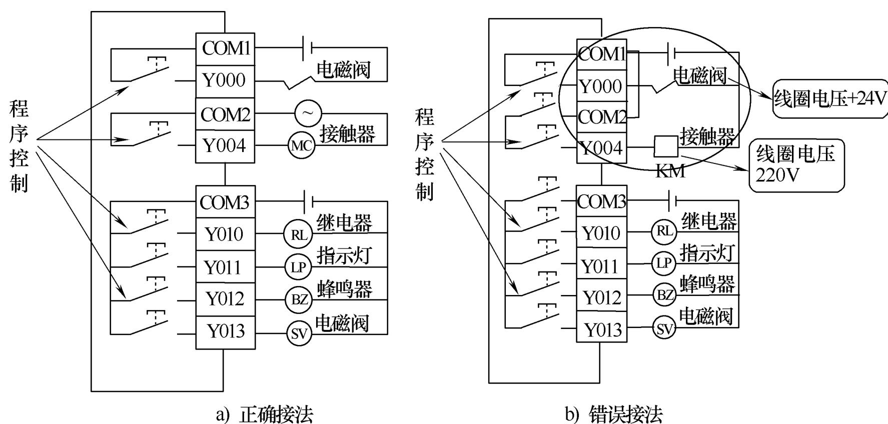



图 1-40 PLC 的多个输出端的接线

**问题 3：**在进行晶体管输出型 PLC 的输出端接线安装时，易将交流电源接入或将直流电源的极性接反。

**原因及后果：**若误将交流电源接入，将导致 PLC 输出端的内部电路损坏，严重时会损坏 PLC。若将直流电源的极性接反，将导致直流负载无法驱动。

**预防措施：**在进行晶体管输出型 PLC 的输出端接线安装时，输出端所接电源只能是直流电源，并且直流电源的极性不能接反，所以只能驱动直流负载，其正确的接线方法如图 1-41 所示。

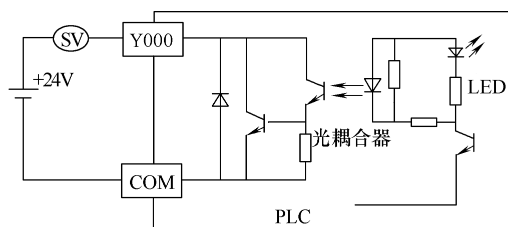



图 1-41　晶体管输出型 PLC 的输出端接线图

# 第二章

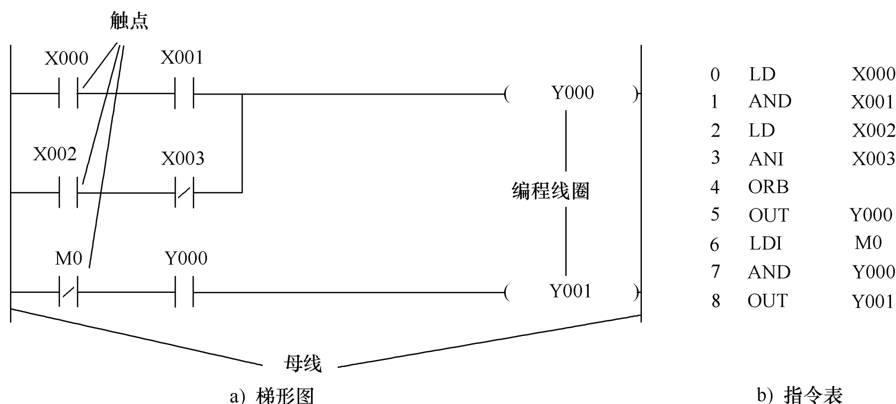
# PLC 编程语言与编程软件

## 第一节　编程语言

PLC 为用户提供了完整的编程语言，以适应编制用户程序的需要。PLC 提供的编程语言通常有梯形图（LAD）、指令表（IL）、顺序功能图（SFC）、功能块图（FBD）和结构化文本（ST）等几种。下面简要介绍几种常用的 PLC 编程语言。

### 一、梯形图（LAD）

梯形图是国内使用最多的图形编程语言，被称为 PLC 的第一编程语言。它沿用了传统的继电器控制电路图的形式和概念，其基本控制思想与继电器控制电路图很相似，只是在使用符号和表达方式上有一定区别。图 2-1a 所示是一个典型的梯形图。应用梯形图进行编程时，只要按梯形图逻辑行顺序输入到计算机中去，计算机就可以自动将梯形图转换成 PLC 能接受的机器语言，存入并执行。



a) 梯形图　　b) 指令表

图 2-1　梯形图和指令表

梯形图的结构形式是由两条母线（左右两条垂直的线）和两母线之间的逻辑触点和线圈按一定结构形式连接起来类似于梯子的图形（也称为程序或电路）。梯形图直观易懂，很容易掌握，为了更好地理解梯形图，这里把 PLC 与继电器控制电路相对比介绍，重点理解几个与梯形图相关的概念。表 2-1 给出了 PLC 与继电器控制电路的电气符号对照关系。

梯形图常被称为电路或程序，梯形图的设计过程称为编程。

**表 2-1　PLC 与继电器控制电路中的电气符号对照**

| 触点、线圈 | 继电器符号 | PLC 符号 |
|---|---|---|
| 常开触点 | | |
| 常闭触点 | | |
| 线圈 | | ( ) |

1. 软继电器（即映像寄存器）

PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等，但是它们不是真实的物理继电器，而是一些存储单元（软继电器），每一个软继电器与 PLC 存储器中映像寄存器的一个存储单元相对应。该存储单元如果为“1”状态，则表示梯形图中对应软继电器的线圈“通电”，其常开触点接通，常闭触点断开，称这种状态是该软继电器的“1”或“ON”状态。如果该存储单元为“0”状态，则对应软继电器的线圈和触点的状态与上述的相反，称该软继电器为“0”或“OFF”状态。使用中也常将这些“软继电器”称为编程元件。

2. 能流

当触点接通时，有一个假想的“概念电流”或“能流”（Power Flow）从左向右流动，这一方向与执行用户程序时的逻辑运算的顺序是一致的。能流只能从左向右流动。利用能流这一概念，可以帮助我们更好地理解和分析梯形图。

3. 母线

梯形图两侧的垂直公共线称为母线（Bus Bar）。在分析梯形图的逻辑关系时，为了借用继电器电路图的分析方法，可以想象左右两侧母线（左母线和右母线）之间有一个左正右负的直流电源电压，母线之间有“能流”从左向右流动。

4. 梯形图的逻辑运算

根据梯形图中各触点的状态和逻辑关系，求出与图中各线圈对应的编程元件的状态，称为梯形图的逻辑运算。梯形图中逻辑运算是按从左至右、从上到下的顺序进行的。运算的结果马上可以被后面的逻辑运算所利用。逻辑运算是根据输入映像寄存器中的值，而不是根据运算瞬时外部输入触点的状态来进行的。

画梯形图时必须遵守以下原则：

1）左母线只能连接各类继电器的触点，继电器线圈不能直接接左母线。

2）右母线只能连接各类继电器的线圈（不含输入继电器线圈），继电器的触点不能直接接右母线。

3）一般情况下，同一线圈的编号在梯形图中只能出现一次，而同一触点的编号在梯形图中可以重复出现。

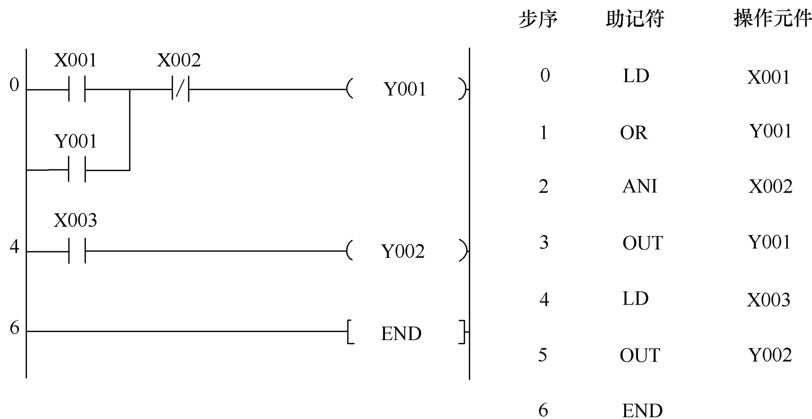
4）梯形图中触点可以任意地串联或并联，而线圈可以并联但不可以串联。

5）梯形图应该按照从左到右、从上到下的顺序画。

## 二、指令表（IL）

指令表类似于计算机汇编语言的形式，用指令的助记符来进行编程。它通过编程器按照指令表的指令顺序逐条写入 PLC 并可直接运行。指令表的助记符比较直观易懂，编程也简单，便于工程人员掌握，因此得到广泛的应用。但要注意不同厂家制造的 PLC，所使用的指令助记符有所不同，即对同一梯形图来说，用指令助记符写成的语句表也不同。图 2-1a 所示的梯形图所对应的指令表如图 2-1b 所示。

语句是指令表编程语言的基本单元，每个控制功能由一个或多个语句组成的程序来执行。每条语句规定 PLC 中 CPU 如何动作，PLC 的指令有基本指令和功能指令之分。指令表和梯形图之间存在唯一对应关系，图 2-2 所示为一梯形图及其对应的指令表。




| 步序 | 助记符 | 操作元件 |
|---|---|---|
| 0 | LD | X001 |
| 1 | OR | Y001 |
| 2 | ANI | X002 |
| 3 | OUT | Y001 |
| 4 | LD | X003 |
| 5 | OUT | Y002 |
| 6 | END | |

图 2-2　梯形图和指令表

上面所给出的每一条指令都属于基本指令。基本指令一般由助记符和操作元件组成，助记符是每一条基本指令的符号（如 LD、OR、ANI、OUT 和 END），它表明了操作功能；操作元件是基本指令的操作对象（如 X000、X001、Y000 简写成 X0、X1、Y0）。某些基本指令仅由助记符组成，如 END 指令。

## 三、功能块图（FBD）

功能块图是与数字逻辑电路类似的一种 PLC 编程语言。它的特点是，以功能模块为单位，不同的功能模块表示不同的功能，分析理解控制方案简单容易，直观性强。

由于功能模块是用图形的形式表达功能，对于具有数字逻辑电路基础的设计人员很容易掌握。对规模大、逻辑关系复杂的控制系统，用功能块图编程，能够清楚表达功能关系，使编程调试时间大大减少。图 2-3 是对应图 2-1 交流异步电动机直接起动的功能块

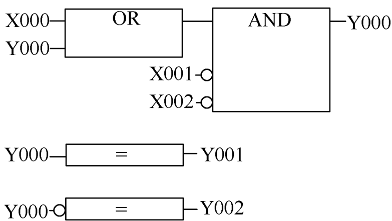



图 2-3　功能块图

图语言的表达方式。

## 四、顺序功能图（SFC）

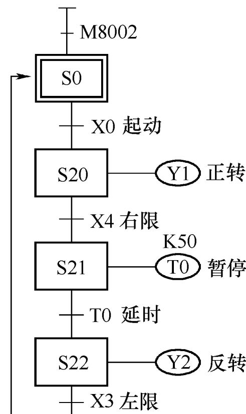


图 2-4　顺序功能图

顺序功能图是为了满足顺序逻辑控制而设计的编程语言。它的特点是，以功能为主线，按照功能流程的顺序分配，条理清楚，便于为用户理解。避免梯形图或其他语言不能顺序动作的缺陷，同时用户程序扫描时间也大大缩短。

编程时将顺序控制流程动作的过程分成步和转换条件，根据转移条件对控制系统的功能流程顺序进行分配，一步一步地按照顺序动作。每一步代表一个控制功能任务，用方框表示。在方框内含有用于完成相应控制功能任务的梯形图逻辑。图 2-4 所示是一个简单的顺序功能图。

## 五、结构化文本（ST）

结构化文本是用结构化的描述文本来描述程序的一种编程语言。它的特点是，采用高级语言进行编程，可以完成较复杂的控制运算，主要用于其他编程语言较难实现的用户程序编制。

结构化文本语言需要有一定的计算机高级语言的知识和编程技巧，对工程设计人员要求较高。不同型号的 PLC 编程软件对以上五种编程语言的支持种类是不同的，早期的 PLC 仅仅支持梯形图语言和指令表语言。目前的 PLC 对梯形图、指令表、功能块图语言都支持。

# 第二节　三菱编程软件 GX Developer 的安装

三菱 GX Developer Ver. 8 编程软件是三菱公司设计在 Windows 环境下使用的 PLC 编程软件，它能够完成 Q 系列、QnA 系列、A 系列（包括运动 CPU）、FX 系列 PLC 梯形图、指令表、顺序功能图等的编程，支持当前所有三菱系列 PLC 的软件编程。该软件简单易学，具有丰富的工具箱和直观形象的视窗界面。编程时，既可用键盘操作，也可以用鼠标操作；操作时可联机编程；该软件还可以对以太网、MELSECNET/10（H）、CC-Link 等网络进行参数设定，具有完善的诊断功能，能方便地实现网络监控，程序的上传、下载不仅可通过 CPU 模块直接连接完成，也可以通过网络系统，如以太网、MELSECNET/10（H）、CC-Link、电话线等完成。

## 一、GX Developer Ver. 8 中文编程软件的安装

在进行 PLC 上机编程设计前，必须先进行编程软件的安装。GX Developer Ver. 8 中文编程软件的安装主要包括三部分：使用环境、编程环境和仿真运行环境。其安装的具体方法和步骤如下：



1. 使用环境的安装

在安装软件前，首先必须先安装使用（通用）环境，否则编程软件将无法正常安装使用。其安装的具体方法及步骤如下：

1）打开 GX Developer Ver. 8 中文软件包，找到 EnvMEL 文件夹并打开，然后用鼠标双击其中的使用环境安装图标 SETUP Setup Launcher InstallShield So.，数秒后，会进入使用环境安装画面，如图 2-5 所示。




图 2-5　进入使用环境安装的画面

2）按照安装提示依次单击画面里的“下一个（N）>”按钮即可完成使用环境的安装。

2. 编程软件的安装

安装好使用环境后就可以实施软件安装了。在安装软件的过程中，会要求输入一个序列号，并对一些选项进行选择。具体方法及步骤如下：

1）打开 GX Developer Ver. 8 中文软件包中的“记事本”文档，复制安装序列号，以备安装使用。

2）双击 GX Developer Ver. 8 中文软件包中的软件安装图标 SETUP Setup Launcher InstallShield So.，进入软件安装画面，然后进行一步一步的安装，进入用户信息画面，如图 2-6 所示。

3）输入用户信息后，单击图 2-6 所示对话框里的“下一个（N）>”按钮，会出现如图 2-7 所示的“注册确认”对话框，单击“是（Y）”按钮，将出现“输入产品序列号”对话框，输入之前复制的产品序列号，如图 2-8 所示。

4）软件安装的项目选择。单击图 2-8 中的“下一个（N）>”按钮，会出现如图 2-9 所示的“选择部件”对话框。由于 ST 语言是在 IEC 61131-3 规范中被规定的结构化文本语言，在此也可不作选择，直接单击“下一个（N）>”按钮，会出现如图 2-10 所示的监视专用选择画面，然后单击“下一个（N）>”按钮。

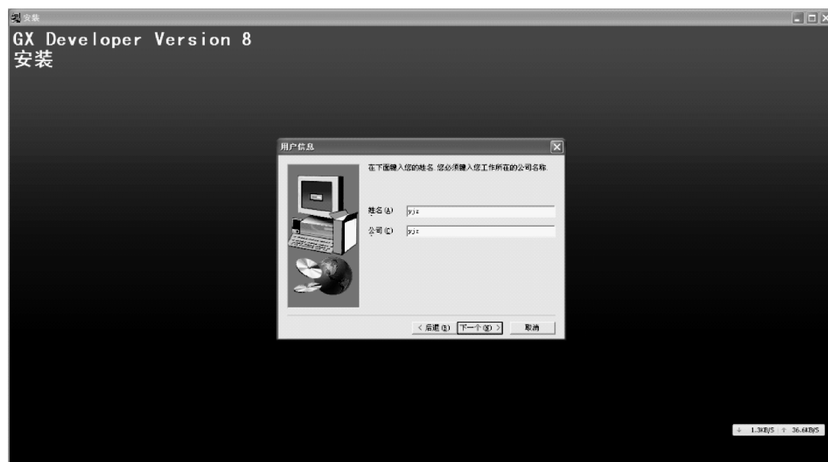



图 2-6　输入用户信息的画面

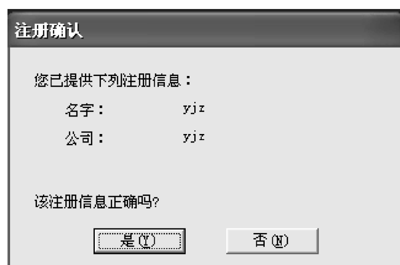



图 2-7　注册确认的画面




图 2-8　输入产品序列号的画面




图 2-9　ST 语言选择画面




图 2-10 监视专用选择画面

5）当所有安装选项的选择部件确认完毕后，就会进入如图 2-11 所示的等待安装过程，直至出现如图 2-12 所示的“本产品安装完毕”对话框，软件才算安装完毕，然后单击对话框里的“确定”按钮，结束编程软件的安装。

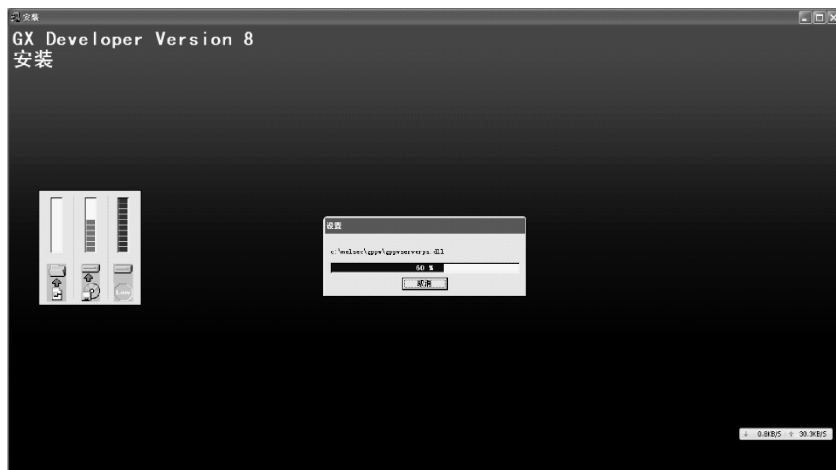



图 2-11 软件等待安装过程画面




图 2-12 软件安装完毕画面

## 二、GX Simulator6 中文仿真软件的安装

编程软件安装完毕后，即可进行仿真软件的安装。安装仿真软件的目的是在没有 PLC

的情况下，通过仿真软件对编写完的程序进行模拟测试。其安装方法及步骤如下：

1. 使用环境的安装

与编程软件的安装一样，在安装仿真软件时，也应首先进行使用环境的安装，否则将会造成仿真软件不能使用。其安装方法如下：

打开 GX Simulator6 中文软件包，找到 EnvMEL 文件夹并打开，然后双击其中的使用环境安装图标 SETUP Setup Launcher InstallShield So.，将会出现如图 2-13 所示的画面，数秒后，会出现如图 2-14 所示的“信息”对话框画面，单击对话框里的“确定”按钮，即可完成仿真软件使用环境的安装。




图 2-13 进入仿真软件使用环境安装的画面

2. 仿真软件的安装

1）打开 GX Simulator6 中文软件包中的“记事本”文档，复制安装序列号，以备安装使用。




图 2-14 仿真软件使用环境安装完毕的画面

2）双击 GX Simulator6 中文软件包中的软件安装图标 SETUP Setup Launcher InstallShield So.，进入软件安装画面，然后按照安装提示进行一步一步的安装，直至进入 SWnD5-LLT 程序设置安装画面，如图 2-15 所示。

特别注意：在安装时，最好把其他应用程序关掉，包括杀毒软件、防火墙、IE、办公软件等。因为这些软件可能会调用系统的其他文件，影响安装的正常进行。图 2-16 所示就是未关掉其他应用程序会出现的画面，此时只要单击“确定”按钮即可。

3）单击图 2-15 中的“下一个（N）>”按钮，将出现如图 2-17 所示的“用户信息”




图 2-15　SWnD5-LLT 程序设置安装画面

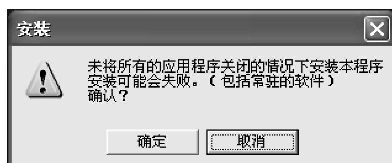



图 2-16　未关掉其他应用程序软件安装时会出现的画面




图 2-17　用户信息画面

画面。输入用户信息，并单击对话框里的“下一个（N）>”按钮，将会出现如图 2-18 所示的“注册确认”对话框，单击“是（Y）”按钮，将出现“输入产品 ID 号”对话框，如图 2-19 所示，输入之前复制的产品序列号即可。

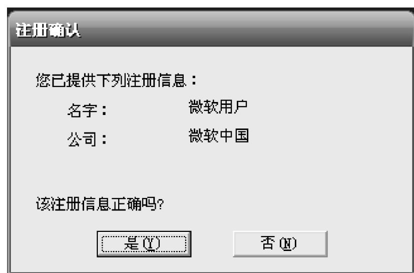



图 2-18　注册确认画面




图 2-19　输入产品 ID 号的画面

4）单击“输入产品 ID 号”对话框里的“下一个（N）>”按钮，将会出现如图 2-20 所示的选择目标位置画面。然后单击对话框里的“下一个（N）>”按钮，会出现类似图 2-11 的软件等待安装过程画面，数秒后，软件安装完毕，会弹出类似图 2-14 的软件安装完毕的画面，此时只要单击画面中的“确定”按钮，即可完成仿真运行软件的安装。




图 2-20　选择目标位置对话框画面

**【名师点拨】　初学安装编程软件常遇到的问题与对策**

在进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装和使用过程中，时常会遇到如下问题：

**问题 1：**在进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装时，没有先进行使用环境的安装而直接进行软件的安装。

**后果及原因：**在进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装时，没有先进行使用环境的安装就直接进行软件的安装，将导致编程软件无法正确安装和使用。

**预防措施：**在进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装时，应先进行使用环境的安装，然后再进行软件的安装。

**问题 2：**进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装过程中，在软件安装的项目选择时，错误地对“ST 语言程序功能”和“监视专用 GX Developer”进行选择。

**后果及原因：**在软件安装的项目选择时，错误地对“ST 语言程序功能”和“监视专用 GX Developer”进行选择，将导致编程软件无法进行编程，这是因为如果在“监视专用”选项中打钩，会导致软件只能做监视用，将无法编程。同时这个地方也是软件安装过程中出现问题最多的地方。

**预防措施：**进行 GX Developer Ver. 8 编程软件的安装过程中，在软件安装的项目选择时，每一个步骤要仔细看，有的选项打钩了反而不利，应按照正确的方法进行选择。



# 第三节 三菱编程软件 GX Developer 的使用

## 一、GX Developer 软件界面

1. GX Developer Ver. 8 编程软件的主要功能

GX Developer Ver. 8 编程软件的功能十分强大，集成了项目管理、程序键入、编译链接、模拟仿真和程序调试等功能。其主要功能如下：

1）在 GX Developer Ver. 8 编程软件中，可通过线路符号、列表语言及 SFC 符号来创建 PLC 程序，建立注释数据及设置寄存器数据。

2）创建 PLC 程序以及将其存储为文件，用打印机打印。

3）创建的 PLC 程序可在串行系统中与 PLC 进行通信、文件传送、操作监控以及各种测试功能。

4）创建的 PLC 程序可脱离 PLC 进行仿真调试。

2. GX Developer Ver. 8 编程软件的操作界面

GX Developer Ver. 8 软件打开后，会出现如图 2-21 所示的操作界面。其操作界面主要由项目标题栏（状态栏）、下拉菜单（主菜单栏）、快捷工具栏、编辑窗口、管理窗口等部分组成。在调试模式下，还可打开远程运行窗口、数据监视窗口等。




图 2-21 GX Developer Ver. 8 软件操作界面

（1）项目标题栏（状态栏）

项目标题栏（状态栏）主要显示有工程名称、文件路径、编辑模式、程序步数、PLC 类型和当前操作状态等。

（2）下拉菜单（主菜单栏）

GX Developer Ver. 8 的下拉菜单（主菜单栏）包含工程、编辑、查找/替换、变换、显示、在线、诊断、工具、窗口、帮助等 10 个下拉菜单，每个菜单又有若干个菜单项。许多基本菜单项的使用方法和目前文本编辑软件的同名菜单项的使用方法基本相同，多数使用者很少直接使用菜单项，而是使用快捷工具。常用的菜单项都有相应的快捷键，GX Developer Ver. 8 的快捷键直接显示在相应菜单项的右边。

（3）快捷工具栏

GX Developer Ver. 8 共有 8 个快捷工具栏，即标准、数据切换、梯形图标记、程序、注释、软元件内存、SFC、SFC 符号工具栏。用鼠标选取“显示”菜单下的“工具条”命令，即可打开这些工具栏，常用的有标准、梯形图标记、程序工具栏，将鼠标停留在快捷按钮上片刻，即可获得该按钮的提示信息。图 2-22 所示为工具栏上部分工具的名称。

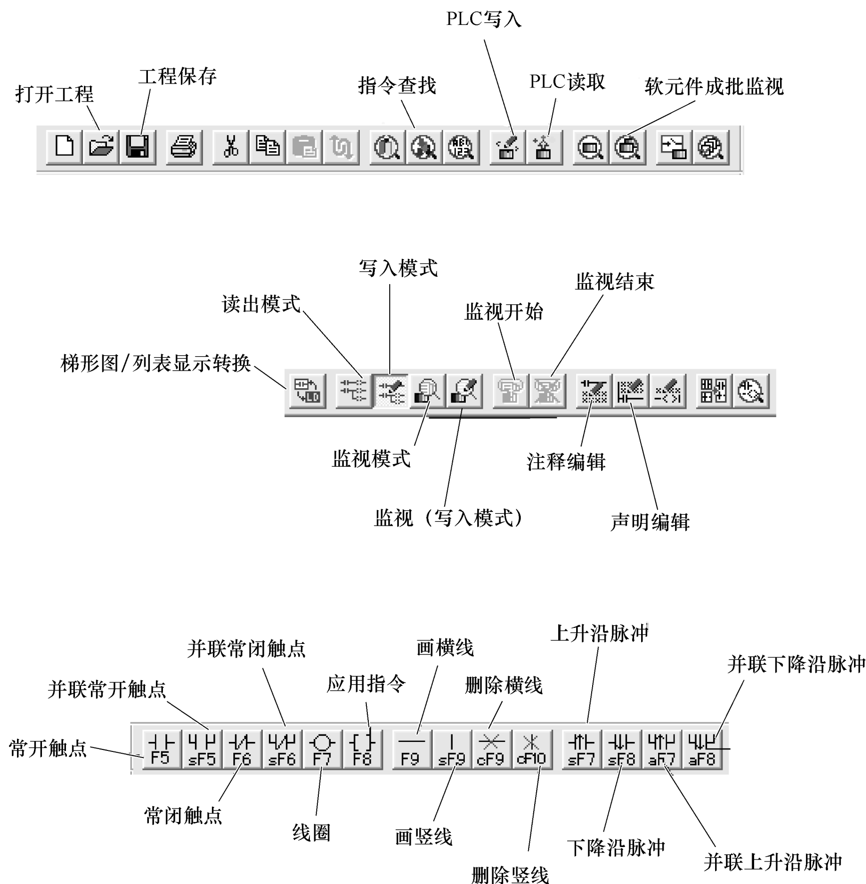



图 2-22　工具栏上部分工具名称

（4）编辑窗口

PLC 程序是在编辑窗口进行输入和编辑的，其使用方法和众多的编辑软件相似。具体的使用方法将在程序编程设计中再进行详细的介绍。

（5）管理窗口

管理窗口是软件的工程参数列表窗口，主要包括显示程序、编程元件的注释、参数和编程元件内存等内容，可实现这些项目的数据设定、管理、修改等功能。

## 二、创建新工程

1. 系统启动

启动 GX Developer 软件，可用鼠标单击桌面的“开始”→“程序”→“MELSOFT 应用程序”→“GX Developer”选项，如图 2-23 所示。然后用鼠标单击 GX Developer 选项，就会打开 GX Developer 窗口，如图 2-24 所示。若要退出系统，可用鼠标选取“工程”菜单下的“关闭”命令，即可退出 GX Developer。

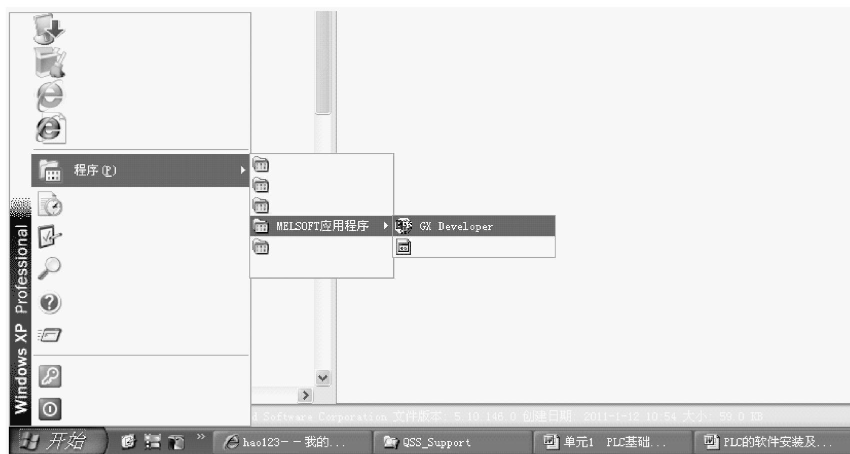



图 2-23 系统启动画面

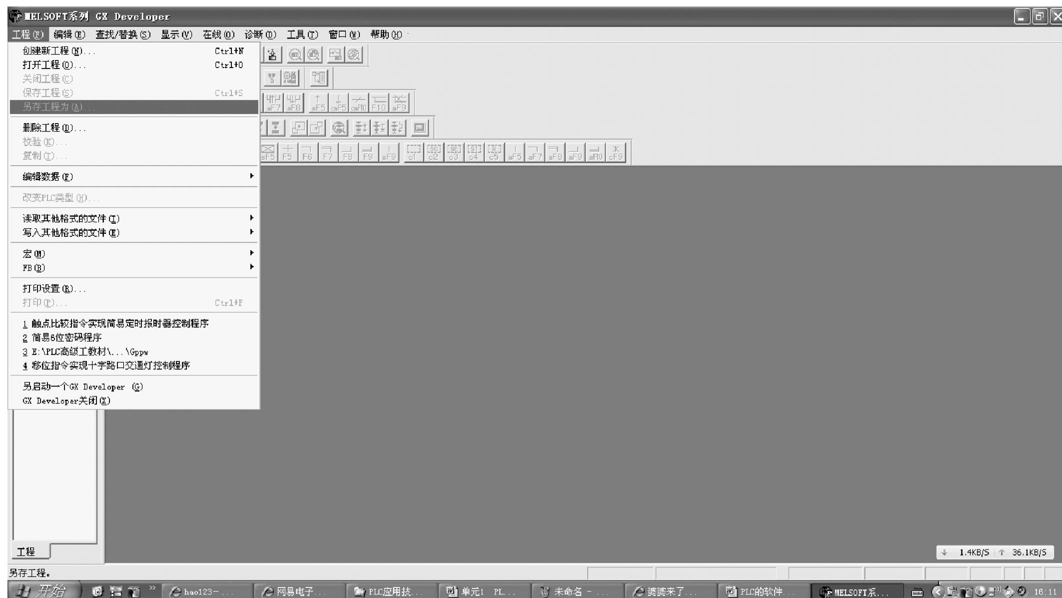



图 2-24 打开的 GX Developer 窗口

2. 创建新工程

在图2-24的GX Developer窗口中，选择“工程”→“创建新工程”菜单命令，或者按“Ctrl”+“N”键操作，在出现的创建新工程对话框的PLC系列中选择“FXCPU”，PLC类型选择“FX2N（C）”，程序类型选择“梯形图逻辑”，如图2-25所示。单击“确定”按钮，可显示如图2-26所示的编程窗口；如果单击“取消”按钮，则不建新工程。

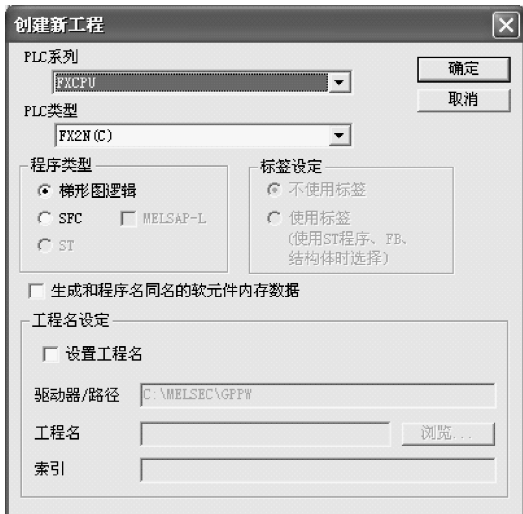



图2-25 创建新工程对话框

提示：在创建工程名时，一定要弄清图2-25中各选项的内容：

1）PLC系列：有QCPU（Q模式）系列、QCPU（A模式）系列、QnA系列、ACPU系列、运动控制CPU（SCPU）和FXCPU系列。




图2-26 编辑窗口

2）PLC类型：根据所选择的PLC系列，确定相应的PLC类型。

3）程序类型：可选“梯形图逻辑”或“SFC”，当在QCPU（Q模式）中选择“SFC”时，“MELSAP-L”亦可选择。

4）标签设定：当无需制作标签程序时，选择“不使用标签”；制作标签程序时，选择“使用标签”。

5）生成和程序同名的软元件内存数据：新建工程时，生成和程序同名的软元件内存

数据。

6）设置工程名：工程名用作保存新建的数据，在生成工程前设定工程名，单击复选框选中；另外，工程名可于生成工程前或生成后设定，但是生成工程后设定工程名时，需要在“另存工程为…”中设定。

7）驱动器/路径：在生成工程前设定工程名时可设定。

8）工程名：在生成工程前设定工程名时可设定。

9）确定：所有设定完毕后单击该按钮。

3. 打开工程

所谓打开工程，就是读取已保存的工程文件，其操作步骤如下：

选择“工程”→“打开工程”菜单或按“Ctrl”+“O”键，在出现的如图2-27所示的打开工程对话框中，选择所存工程驱动器/路径和工程名，单击“打开”按钮，进入编辑窗口；单击“取消”按钮，重新选择。

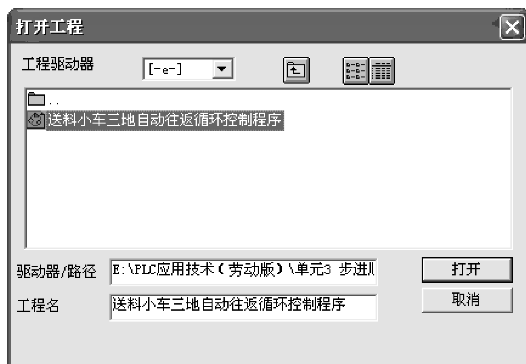


图2-27 打开工程对话框

在图2-27中，选择“送料小车三地自动往返循环控制程序”工程，单击打开后得到梯形图编辑窗口，这样即可编辑程序或与PLC进行通信等操作。

4. 文件的保存和关闭

保存当前PLC程序、注释数据以及其他在同一文件名下的数据，操作方法为执行“工程”→“保存工程”菜单操作或“Ctrl”+“S”键操作。

将已处于打开状态的PLC程序关闭，操作方法是执行“工程”→“关闭工程”菜单命令即可。

提示：

1）在关闭工程时，如未设定工程名或者正在编辑时选择“关闭工程”，将会弹出一个询问保存对话框，如图2-28所示。如果希望保存当前工程时应单击“是”按钮，否则应单击“否”按钮，如果需继续编辑工程应单击“取消”按钮。



图2-28 关闭工程时的对话框

2）当未指定驱动器/路径名（空白）就保存工程时，GX Developer可自动在默认值设定的驱动器/路径中保存工程。

5. 删除工程

将已保存在计算机中的工程文件删除，操作步骤如下：

1）选择“工程”→“删除工程”菜单命令，弹出“删除工程”对话框。

2）单击将要删除的文件名，按“Enter”键，或者单击“删除”按钮；或者双击要删

除的文件名，弹出删除确认对话框。单击“取消”按钮，不继续删除操作。

3）单击“是”按钮，确认删除工程。单击“否”按钮，返回上一对话框。

## 三、梯形图编辑

下面以具体的梯形图为例，来学习梯形图的编辑。

例如，输入如图2-29所示的梯形图程序，操作方法及步骤如下：

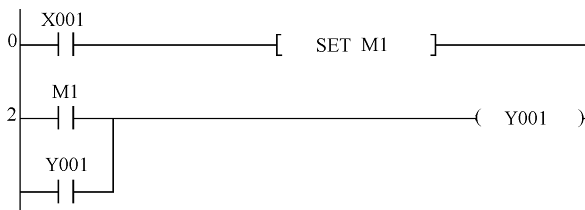
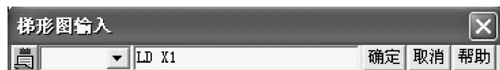



图2-29　输入的梯形图示例

1）新建一个工程，在菜单栏中选择“编辑”→“写入模式”菜单命令，如图2-30所示。在蓝线光标框内直接输入指令或单击F5图标（或按快捷键“F5”），就会弹出“梯形图输入”对话框。然后在对话框的文本输入框中输入“LD X1”指令（LD与X1之间有空格，见图2-31a，或在有梯形图标记“┤├”的文本框中输入“X1”，如图2-31b所示；最后单击对话框中的“确定”按钮或按“Enter”键，就会出现如图2-32所示的画面。




图2-30　进入梯形图程序输入画面




a）指令输入画面




b）梯形图输入画面

图2-31　梯形图及指令输入画面

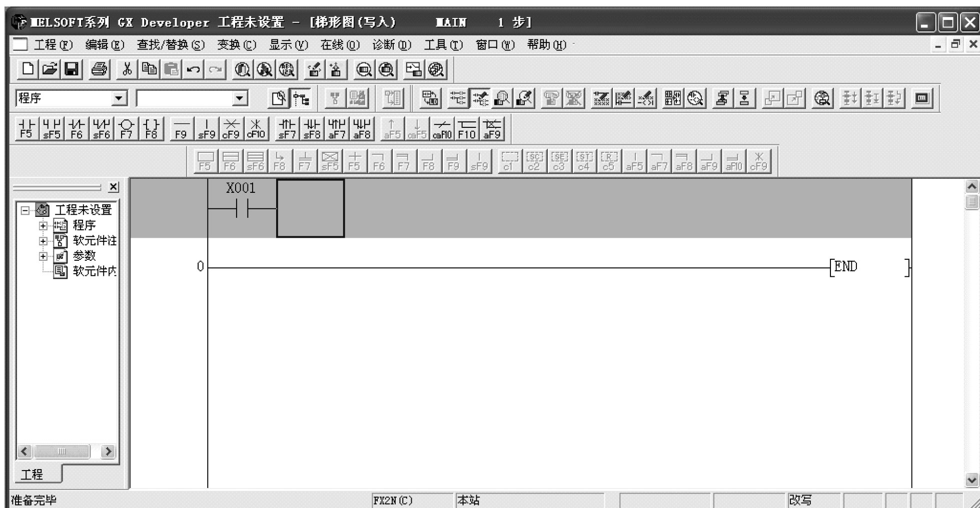



图 2-32 X001 输入完毕画面

2）采用前述类似的方法输入“SET M1”指令（或选择{ } F8图标，然后输入相应的指令），输入完毕后单击“确定”按钮，即可得到如图 2-33 所示的画面。

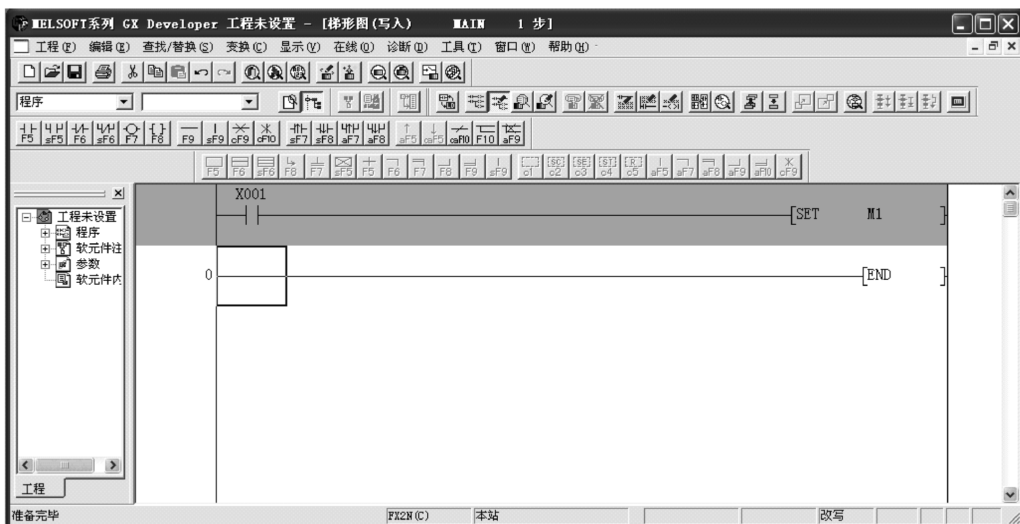



图 2-33 “SET M1”输入完毕画面

3）再用上述类似的方法输入“LD M1”和“OUT Y1”指令，如图 2-34 所示。

4）在图 2-34 的蓝线光标框处直接输入“OR Y1”或单击相应的工具图标 sF5 并输入指令，确定后程序窗口中显示已输入完毕的梯形图，如图 2-35 所示。至此，完成了程序的创建。

5）梯形图输入完毕后，可通过执行“编辑”菜单栏中的指令，对输入的程序进行修改和检查，如图 2-36 所示。

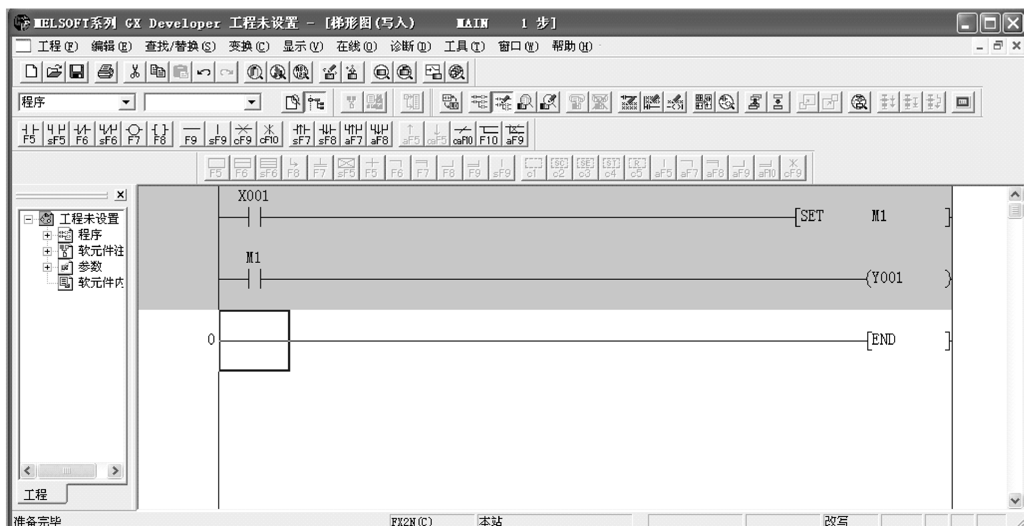



图 2-34 “LD M1” 和 “OUT Y1” 指令输入完毕画面

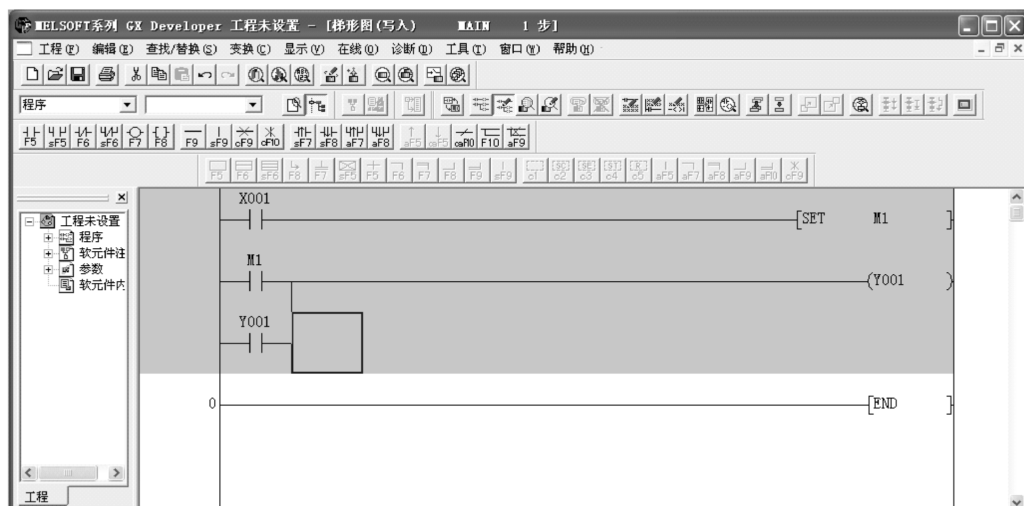



图 2-35 梯形图输入完毕画面

6）编辑好的程序先通过执行“变换”→“变换”菜单命令或按“F4”键变换后，才能保存，如图 2-37 所示。在变换过程中显示梯形图变换信息，如果在不完成变换的情况下关闭梯形图窗口，新创建的梯形图将不被保存。图 2-38 所示是该示例程序变换后的画面。

## 四、程序的检查、下载和上传

1. 程序的检查

执行“诊断”→“PLC 诊断”菜单命令，进行程序检查，如图 2-39 所示。




图 2-36 编辑操作




图 2-37 变换操作




图 2-38 变换后的梯形图画面

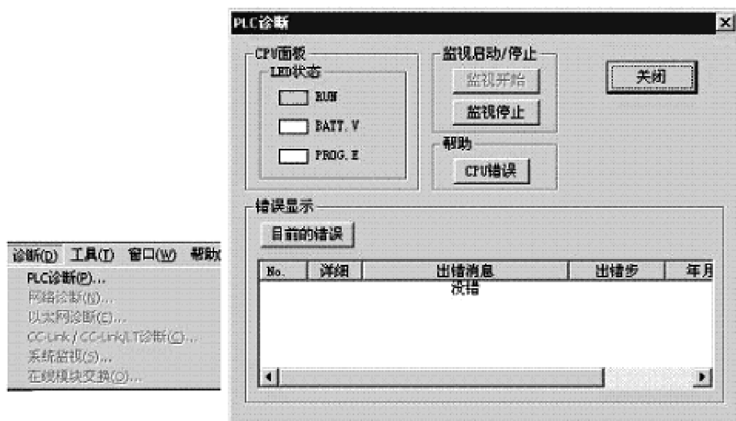



图 2-39　诊断操作

2. 程序的写入

PLC 在 STOP 模式下，执行“在线”→“PLC 写入”菜单命令，出现 PLC 写入对话框，如图 2-40 所示，选择“参数 + 程序”，再按“执行”按钮，完成将程序写入 PLC。

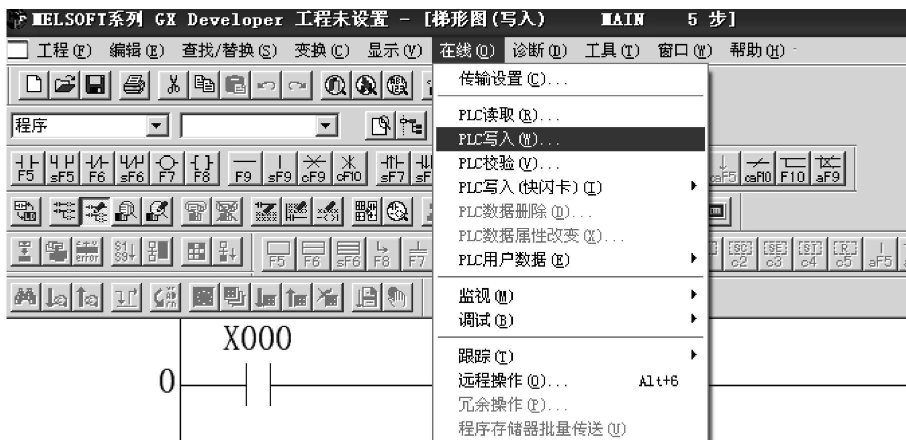
3. 程序的上传（读取）

PLC 在 STOP 模式下，执行“在线”→“PLC 读取”菜单命令，可将 PLC 的程序发送到计算机中，如图 2-41 所示。

## 五、程序的运行及监控

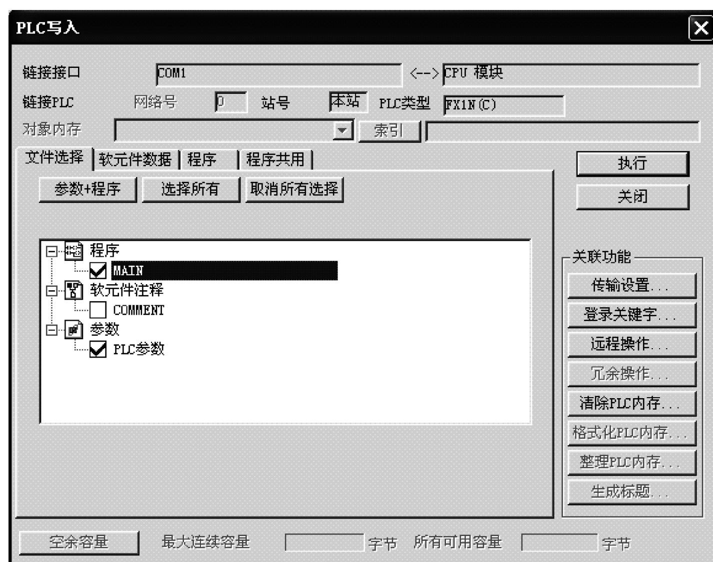
1. 程序的运行

执行“在线”→“远程操作”菜单命令，将 PLC 设为 RUN 模式，程序运行，如图 2-42 所示。

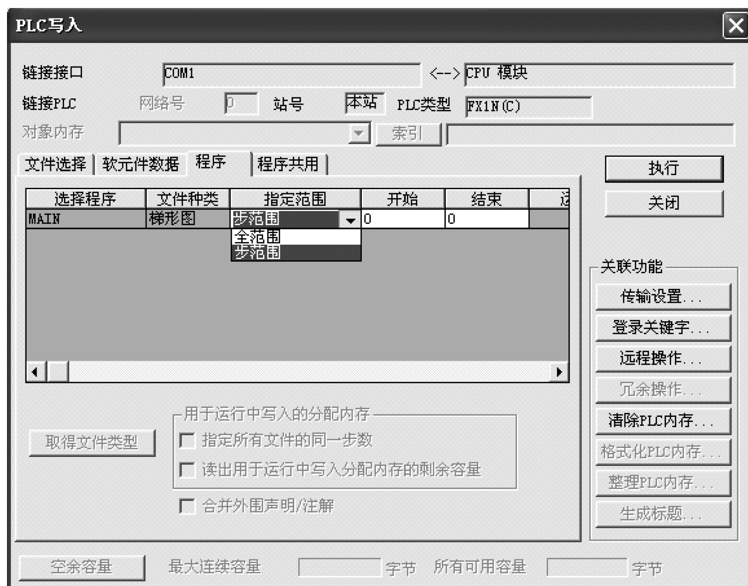



a)

图 2-40　程序的写入操作

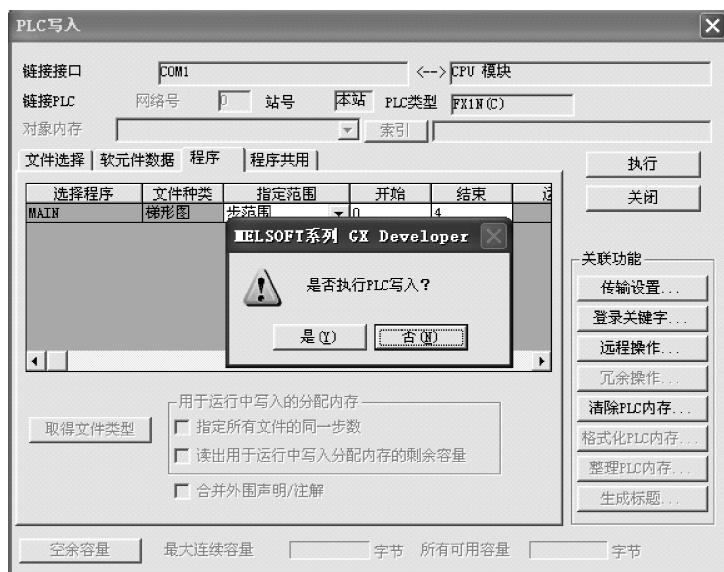



b)

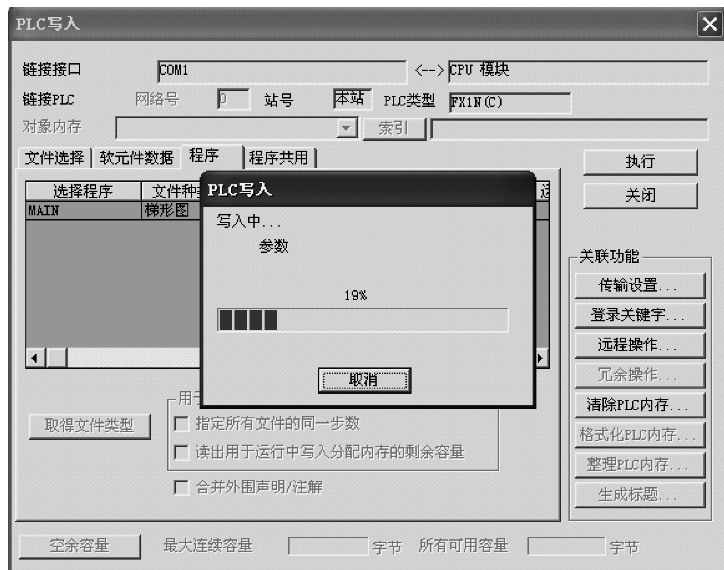



c)

图 2-40 程序的写入操作（续）

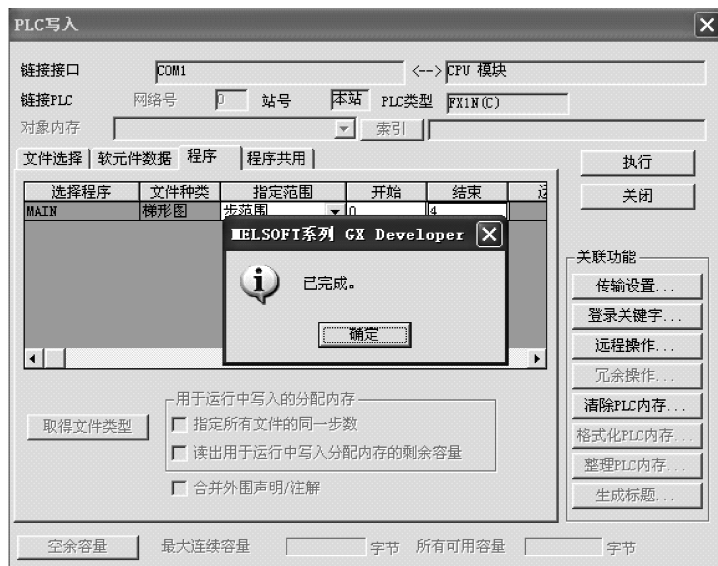



d)




e)

图 2-40　程序的写入操作（续）



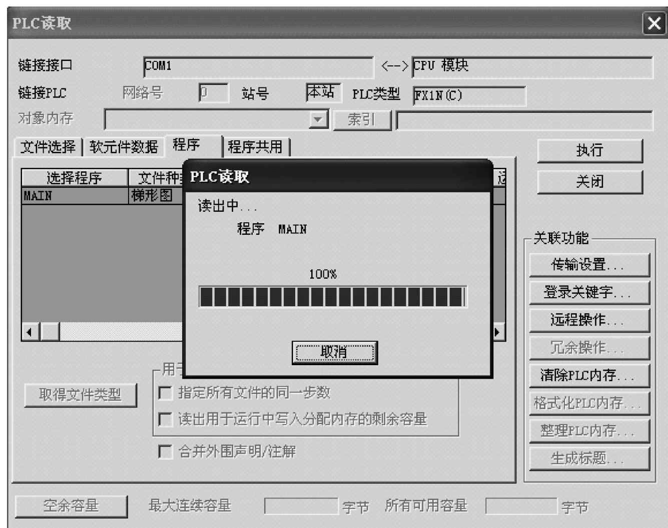

f)

图 2-40 程序的写入操作（续）




a)

图 2-41 程序的发送




b)

图 2-41　程序的发送（续）

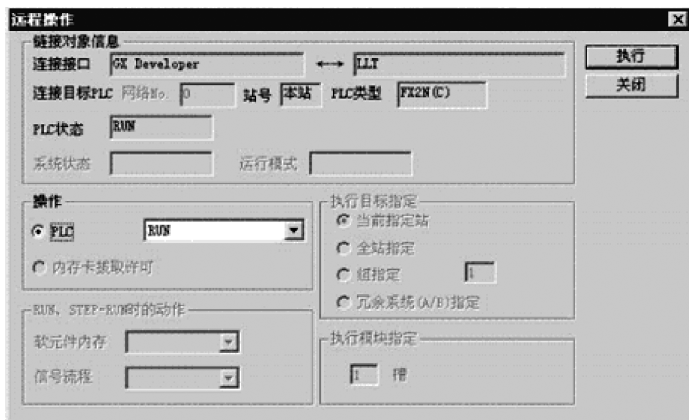



图 2-42　运行操作

2. 程序的监控

执行程序运行后，再执行“在线”→“监视”菜单命令，可对 PLC 的运行过程进行监控。结合控制程序，操作有关输入信号，可观察输出状态，如图 2-43 所示。

3. 程序的调试

程序运行过程中出现的错误一般有两种：

1）一般错误：运行的结果与设计的要求不一致，需要修改程序。先执行“在线”→“远程操作”菜单命令，将 PLC 设为 STOP 模式，再执行“编辑”→“写入模式”菜单命令，从程序读取开始执行（输入正确的程序），直到程序正确。

2）致命错误：PLC 停止运行，PLC 上的 ERROR 指示灯亮，需要修改程序。先执行“在线”→“清除 PLC 内存”菜单命令，如图 2-44 所示；将 PLC 内的错误程序全部清除

后，再从程序读取开始执行（输入正确的程序），直到程序正确。




图 2-43　监控操作




图 2-44　清除 PLC 内存操作

**【名师点拨】　PLC 下载程序时出现通信失败的原因与对策**

1. PLC 在传送程序时，先确定以下内容正确：

1）计算机的 RS232C 或 USB 端口与 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器连接。

2）PLC 必须工作在 STOP 模式下，才能执行程序传送。

3）在 PLC 读取时，程序必须在 RAM 或 EEPROM 内存保护关断的情况下读取。

2. 计算机与 PLC 通信时常出现如下通信错误：

1）当 PLC 写入出现时，出现无法与 PLC 通信提示界面，如图 2-45 所示。无法通信可能出




图 2-45　提示界面

现的原因及对策如下：

原因一：PLC 没有接通工作电源。解决对策：检查电源是否正常。

原因二：通信超时（电缆断线，不支持指定的传送速度）。解决对策：检查电缆的两端插头是否接触良好，检查电缆好坏（有条件可更换一条电缆），检查设定的波特率，点击编程软件界面下的“在线”菜单，出现如图 2-46a 所示的界面，再点击“传输设置”出现如图 2-46b 所示的界面。查看传送速度是否为默认的 9.6Kbps。

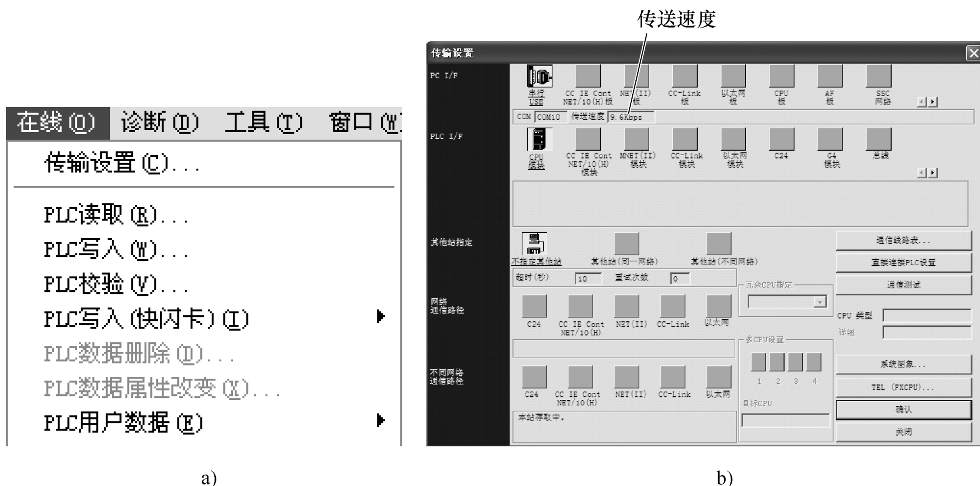



图 2-46　传输设置界面

原因三：检查工程和连接的 PLC 类型不同。解决对策：单击编程软件界面中的“工程”菜单，在“工程”下拉菜单中，单击“改变 PLC 类型”，更改 PLC 的类型。

原因四：PLC 被复位了。解决对策：关闭窗口再执行。

原因五：监视条件功能出错（执行了运行中的其他功能，使用了不支持的通信路径）。

2）当 PLC 写入出现时，出现无法使用的 COM 端口的提示界面，如图 2-47 所示。




图 2-47　无法使用的 COM 端口的提示界面

原因是计算机的 COM 端口和 PLC 软件的端口设置不一致。解决对策：计算机的端口和软件的端口都要设置，一般情况下，台式计算机默认的是 COM1，软件也改成 COM1 后，重新启动软件。如果使用的是 USB 下载电缆，计算机的端口和软件的端口都要设置一致后再重启软件。

# 第四节　三菱仿真软件 GX Simulator 的使用

仿真软件的功能就是将编写好的程序在计算机中虚拟运行，如果没有编好的程序，是无法进行仿真的。首先，在安装仿真软件 GX Simulator 之前，必须先安装编程软件 GX Developer。安装好编程软件和仿真软件后，仿真软件就被集成到编程软件 GX Developer 中了，在桌面或开始菜单中并没有仿真软件的图标。

## 一、启动仿真

1）启动编程软件 GX Developer，创建一个新工程。编制如图 2-48 所示梯形图。

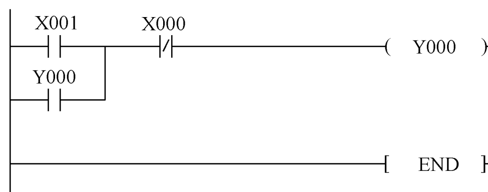



图 2-48　梯形图

2）单击如图 2-49 所示快捷工具栏中的仿真图标，即可进入如图 2-50 所示的梯形图逻辑测试的仿真启动画面。

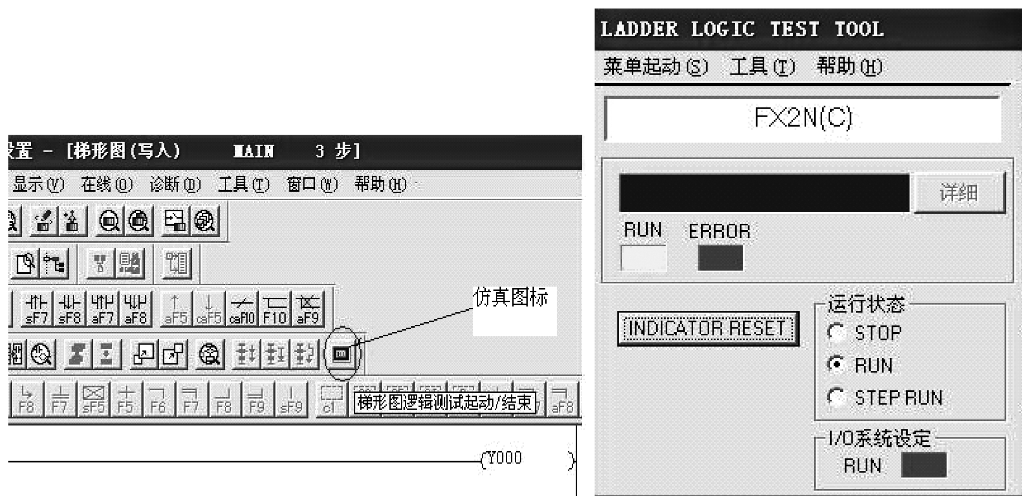



图 2-49　梯形图逻辑测试的仿真启动操作画面

3）启动仿真后程序开始模拟 PLC 写入过程。




图 2-50　梯形图逻辑测试仿真启动画面

## 二、软元件的操作与监控

1）当仿真软件启动结束后，会出现如图 2-51 所示的画面，然后根据图中的提示进行仿真操作。

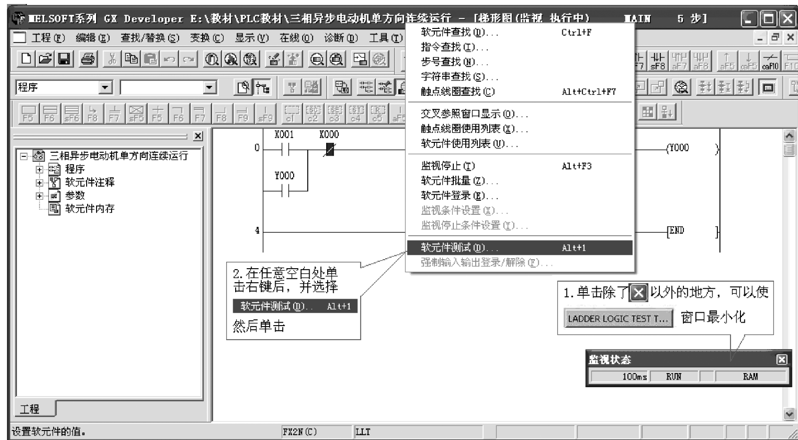



图 2-51　梯形图逻辑测试软元件测试启动画面

2）单击如图 2-51 所示画面中的“软元件测试（D）”，会弹出如图 2-52 所示的“软元件测试”对话框。然后按照图中的提示将对话框下拉，以便在仿真测试过程中能观察到梯形图仿真时的触点和线圈通断电情况。

3）按照如图 2-53 所示的梯形图逻辑测试的操作画面进行仿真操作，并观察显示器中的梯形图中的软元件的通断电情况是否与任务控制要求相符。



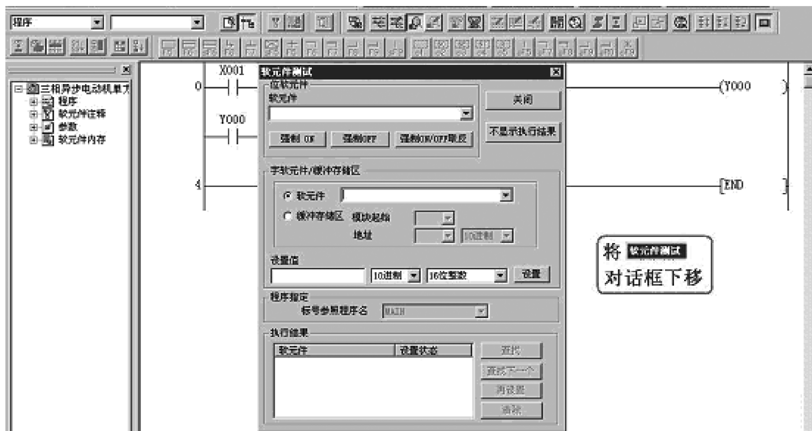



图 2-52　软元件测试对话框画面

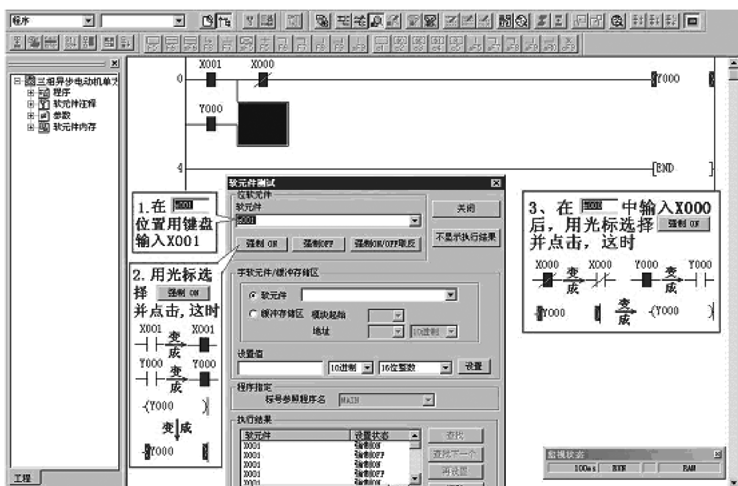



图 2-53　梯形图逻辑测试仿真操作画面

4）梯形图逻辑测试仿真操作完毕，需要结束模拟仿真运行时，可按照如图 2-54 所示操作提示结束测试。

## 三、元件的状态和时序图监控

1. 位元件监控

单击“LADDER LOGIC TEST TOOL”界面中的“菜单起动（S）”，再单击“继电器内存监视（D）”，将弹出如图 2-55 所示的窗口，单击“软元件（D）”→“位软元件窗口（B）”→“Y”，如图 2-56 所示，即可监视到所有输出 Y 的状态，置 ON 的为黄色，处于 OFF 状态的不变色。用同样的方法，可以监视到 PLC 内所有元件的状态，对于位元件，用鼠标双击，可以强制置 ON，再双击，可以强制置 OFF，对于数据寄存器 D，可以直接置数。对于 T、C 也可以修改当前值，因此调试程序非常方便。

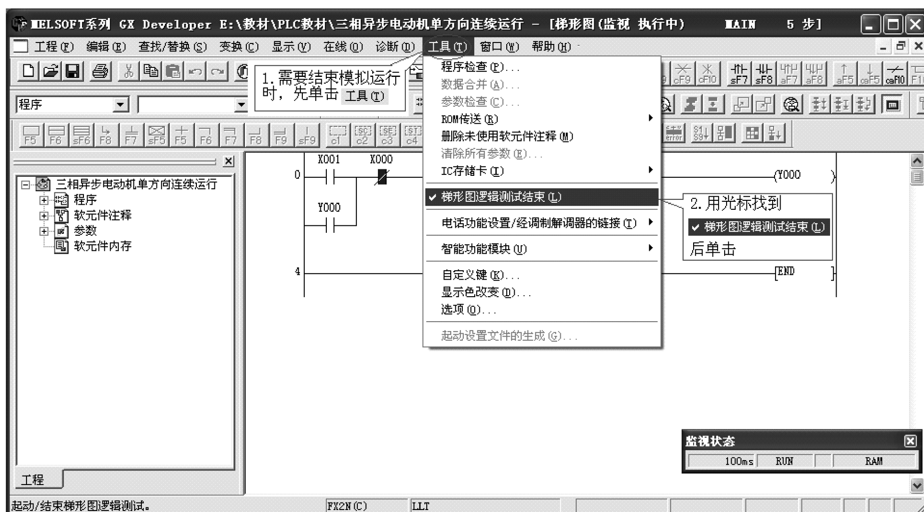



图 2-54　结束梯形图逻辑测试仿真操作画面

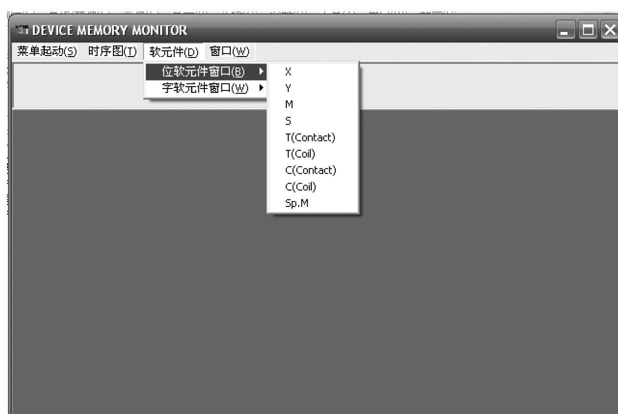



图 2-55　单击位元件窗口

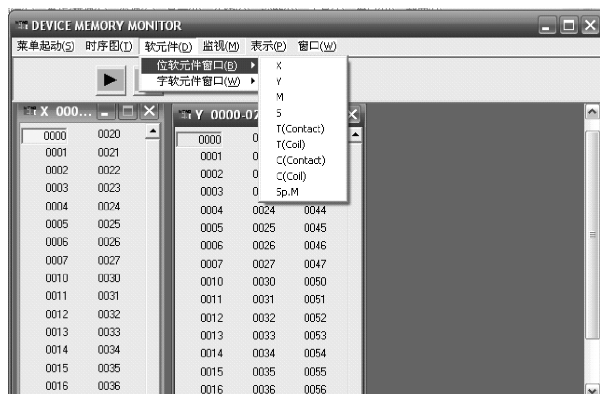


图 2-56　位元件监控或强制窗口

2. 时序图监控

在图2-55中单击“时序图（T）”→启动“（R）”，则出现时序图监控，如图2-57所示。在图2-57中可以看到程序中各元件的变化时序图。

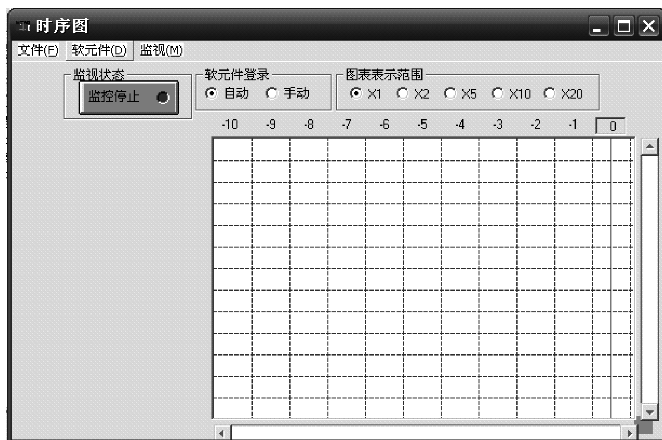



图2-57 时序图监控

## 四、PLC停止运行

1）单击状态栏的“LADDER LOGIC TEST TOOL”按钮，将弹出如图2-49所示对话框，在图2-49中选择“STOP”，PLC就停止运行，再选择“RUN”，PLC又运行。

2）退出PLC仿真运行。在对程序仿真测试完毕后，通常需要对程序进行修改，这时要退出PLC仿真运行，重新对程序进行编辑修改。退出方法如下：

单击快捷工具栏图标，则出现退出梯形图逻辑测试窗口，如图2-58所示，单击“确定”按钮即可退出仿真运行，但此时的光标还是蓝块，程序处于监控状态，不能对程序进行编辑，所以需要单击快捷图标，光标变成方框，即可对程序进行编辑。

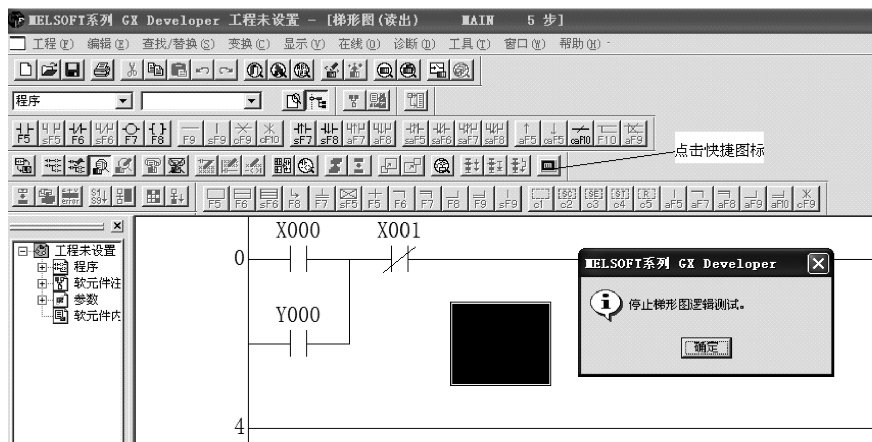



图2-58 退出梯形图逻辑测试窗口

**【名师点拨】 初学者学习PLC应具备哪些设备**

初学者学习PLC应必备以下设备：

1. 编程软件

1）学习三菱PLC必备三菱编程软件，如GX Developer Ver.8软件；仿真软件GX Simulator。

2）学习西门子S7-200系列PLC应具备STEP7-Micro/WIN V4.0编程软件和S7-200仿真软件。

注意：不同品牌的PLC都有自己的编程软件，这些编程软件不能通用。相关软件可从官方网站下载。

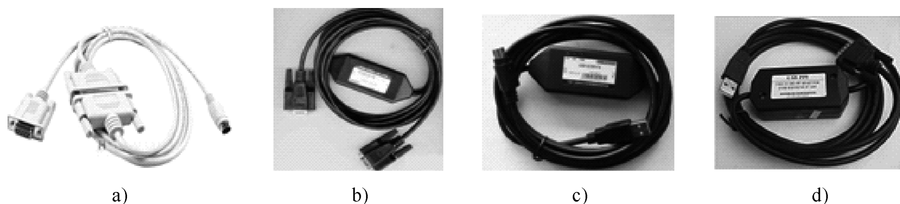
2. 硬件设备

1）个人计算机（台式计算机或笔记本电脑）。

2）三菱FX系列PLC或其他品牌的PLC。

3）数据传输线。连接计算机与PLC之间的数据传输线。例如，三菱FX系列PLC的数据传输线型号为SC-09；西门子S7-200系列PLC传输线型号为PC-PPI。

注意：个人计算机如果是台式机，则计算机使用COM1端口，三菱SC-09所用数据传输线为一端是串口RS232，另一端是RS422圆形插头，如图2-59a所示；西门子PC-PPI数据传输线为一端是串口RS232，另一端是RS485端口，如图2-59b所示。如果是笔记本电脑，则使用数据传输线一端是USB端口，三菱FX系列PLC的另一端是RS422圆形插头，如图2-59c所示，西门子S7-200系列PLC的另一端是RS485端口，如图2-59d所示。



a) b) c) d)

图2-59 PLC的数据传输线

# 第三章

# FX 系列 PLC 的基本控制指令

PLC 的指令有基本指令和功能指令之分，我们以三菱 FX2N 系列为例来学习。FX2N 系列 PLC 共有基本指令 27 条，如表 3-1 所示。

**表 3-1　三菱 FX 系列 PLC 基本指令**

| 助记符 | 指令名称 | 功能 | 助记符 | 指令名称 | 功能 |
|---|---|---|---|---|---|
| **取指令与输出指令** | | | **块操作指令** | | |
| LD | 取指令 | 运算开始，常开触点 | ANB | 块与指令 | 电路块串联 |
| LDI | 取反指令 | 运算开始，常闭触点 | ORB | 块或指令 | 电路块并联 |
| LDP | 取上升沿指令 | 上升沿检出运算开始 | 置位与复位指令 | | |
| LDF | 取下降沿指令 | 下降沿检出运算开始 | SET | 置位指令 | 线圈动作并保持 |
| OUT | 输出指令 | 对线圈进行驱动 | RST | 复位指令 | 解除线圈动作 |
| **触点串联指令** | | | **微分指令** | | |
| AND | 与指令 | 串联连接常开触点 | PLS | 上升沿微分指令 | 上升沿输出脉冲 |
| ANI | 与非指令 | 串联连接常闭触点 | PLF | 下降沿微分指令 | 下降沿输出脉冲 |
| ANDP | 上升沿与指令 | 上升沿检出串联 | **主控指令** | | |
| ANDF | 下降沿与指令 | 下降沿检出串联 | MC | 主控指令 | 产生临时左母线 |
| **触点并联指令** | | | MCR | 主控复位指令 | 取消临时左母线 |
| OR | 或指令 | 并联连接常开触点 | **堆栈指令** | | |
| ORI | 或非指令 | 并联连接常闭触点 | MPS | 进栈指令 | 运算存储 |
| ORP | 上升沿或指令 | 上升沿检出并联 | MRD | 读栈指令 | 存储读出 |
| ORF | 下降沿或指令 | 下降沿检出并联 | MPP | 出栈指令 | 存储读出和复位 |
| INV | 取反指令 | 运算结果取反 | NOP | 空操作指令 | 无动作 |
| END | 结束指令 | 程序结束 | | | |

# 第一节　基本逻辑指令

## 一、基本的连接与驱动指令

1. LD、LDI

LD 称为“取”指令，用于单个常开触点与左母线的连接。

LDI 称为“取反”指令，用于单个常闭触点与左母线的连接。

2. OUT

OUT 称为“驱动”指令，是用于对线圈进行驱动的指令。

“取”指令与“驱动”指令的使用如图 3-1 所示。

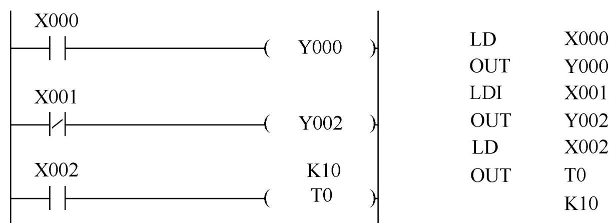



图 3-1　“取”指令与“驱动”指令的使用

指令使用说明：

1）LD 和 LDI 指令可以用于软元件 X、Y、M、T、C 和 S。

2）LD 和 LDI 指令还可以与 ANB、ORB 指令配合，用于分支电路的起点处。

3）OUT 指令可以用于 Y、M、T、C 和 S，但是不能用于输入继电器 X。

4）对于定时器和计数器，在 OUT 指令之后应设置常数 K 或数据寄存器 D。

3. AND、ANI

AND 称为“与”指令，用于单个常开触点的串联，完成逻辑“与”的运算。

ANI 称为“与非”指令，用于单个常闭触点的串联，完成逻辑“与非”的运算。

触点串联指令的使用如图 3-2 所示。

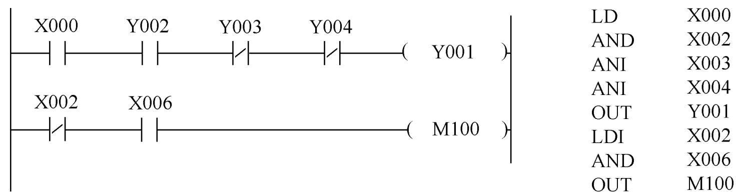



图 3-2　触点串联指令的使用

指令使用说明：

1）AND、ANI 的目标元件可以是 X、Y、M、T、C 和 S。

2）触点串联使用次数不受限制。

4. OR、ORI

OR 称为“或”指令，用于单个常开触点的并联，实现逻辑“或”运算。

ORI 称为“或非”指令，用于单个常闭触点的并联，实现逻辑“或非”运算。

触点并联指令的使用如图 3-3 所示。

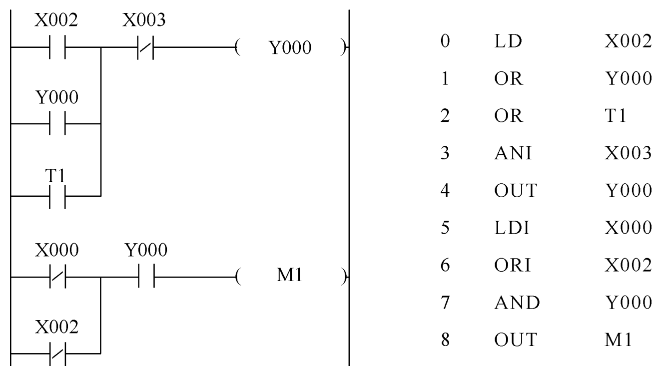



图 3-3 触点并联指令的使用

指令使用说明：

1）OR、ORI 指令都是指单个触点的并联。

2）触点并联指令连续使用的次数不受限制。

3）OR、ORI 指令的目标元件可以为 X、Y、M、T、C、S。

5. ORB、ANB

ORB 称为“块或”指令，用于两个或两个以上触点串联而成的电路块的并联。

ANB 称为“块与”指令，用于两个或两个以上触点并联而成的电路块的串联。

ORB 指令的使用如图 3-4 所示。

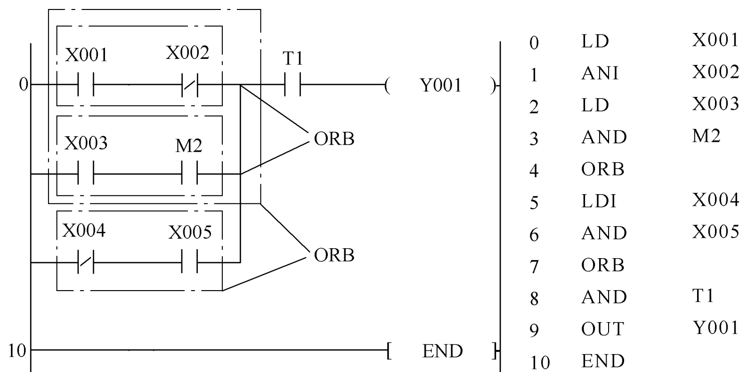



图 3-4 ORB 指令的使用

**ORB 指令的使用说明：**

1）电路块并联时，对于电路块的开始应该用 LD 或 LDI 指令。

2）如有多个电路块并联时，要对每个电路块使用ORB指令。连续使用次数不应超过8次。

ANB指令的使用如图3-5所示。

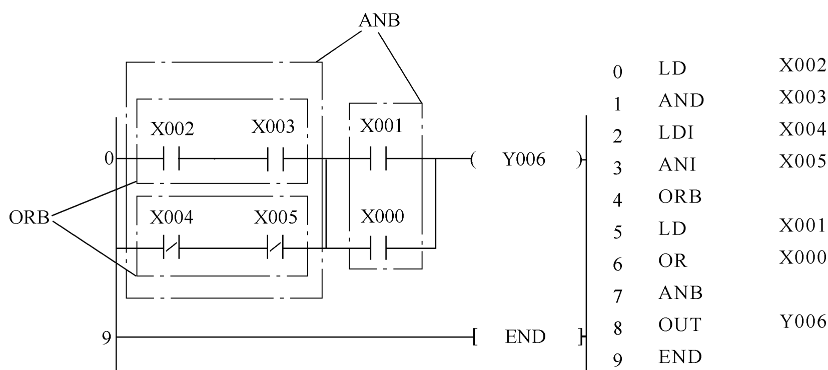



图3-5　ANB指令的使用

**ANB指令的使用说明：**

1）电路块串联时，对于电路块的开始应该用LD或LDI指令。

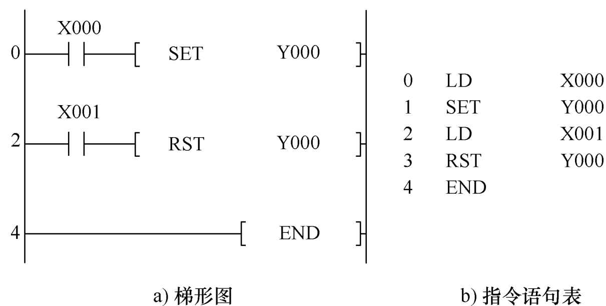
2）如有多个电路块按顺序串联时，要对每个电路块使用ANB指令。ANB指令与ORB指令一样，连续使用次数不应超过8次。

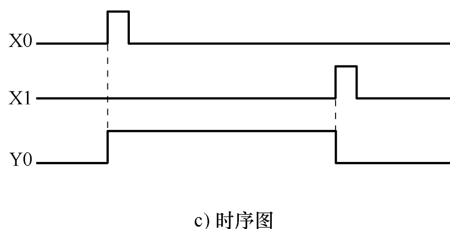
## 二、置位与复位指令

SET是置位指令，其作用是使被操作的目标元件置位并保持。

RST是复位指令，其作用是使被操作的目标元件复位并保持清零状态。

SET、RST的使用如图3-6所示。




c) 时序图

图3-6　置位与复位指令的使用

图 3-6c 所示为时序图。时序图可以直观地表达出梯形图的控制功能。在画时序图时，我们一般规定只画各元件常开触点的状态，如果常开触点是闭合状态，用高电平“1”表示；如果常开触点是断开状态，则用低电平“0”表示。假如梯形图中只有某元件的线圈和常闭触点，则在时序图中仍然只画出其常开触点的状态。

指令使用说明：

1）SET 指令的目标元件可以是 Y、M、S。

2）RST 指令的目标元件为 Y、M、S、T、C、D、V、Z。RST 指令常被用来对 D、Z、V 的内容清零，还用来复位积算定时器和计数器。

3）对于同一目标元件，SET、RST 指令可多次使用，顺序也可随意，但最后执行者有效。

## 三、脉冲微分指令

微分指令可以将脉宽较宽的输入信号变成脉宽等于 PLC 一个扫描周期的触发脉冲信号，相当于对输入信号进行微分处理，如图 3-7 所示。

PLS 称为上升沿微分指令，其作用是在输入信号的上升沿产生一个扫描周期的脉冲输出。

PLF 称为下降沿微分指令，其作用是在输入信号的下降沿产生一个扫描周期的脉冲输出。

脉冲微分指令的应用格式如图 3-7 所示。

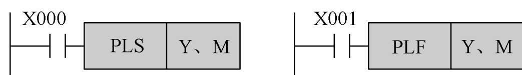



图 3-7　脉冲微分指令的应用格式

脉冲微分指令的使用如图 3-8 所示，利用微分指令检测到信号的边沿，M0 或 M1 仅接通一个扫描周期，通过置位和复位指令控制 Y0 的状态。

**指令使用说明：**

1）PLS、PLF 指令的目标元件为 Y 和 M。

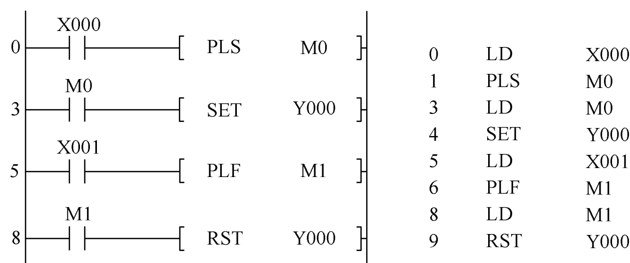
2）使用 PLS 指令时，是利用输入信号的上升沿来驱动目标元件，使其接通一个扫描周期；使用 PLF 指令时，是利用输入信号的下降沿来驱动目标元件，使其接通一个扫描周期。

## 四、其他基本指令

END 为结束指令，将强制结束当前的扫描执行过程，若不写 END 指令，将从用户程序存储器的第一步执行到最后一步；将 END 指令放在程序结束处，只执行第一步至 END 之间的程序，所以使用 END 指令可以缩短扫描周期。

另外在调试程序过程中，可以将 END 指令插在各段程序之后，这样可以大大地提高调试的速度。

NOP 是空操作指令，其作用是使该步序作空操作。执行完清除用户存储器的操作后，用户存储器的内容全部变为空操作指令。



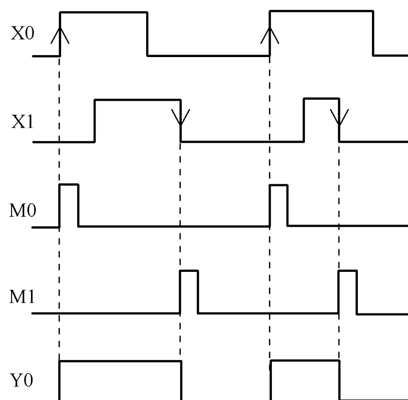




图 3-8 脉冲微分指令的使用

**【名师点拨一】 并行输出、纵接输出和多路输出**

1. 几种常见的输出形式

我们已经学习了15条基本指令，在此基础上，我们一起来认识几种特殊的梯形图结构。

如图3-9所示，在同样的驱动条件下，OUT指令连续使用了3次。这种OUT指令连续使用若干次（相当于线圈并联）的输出形式称为并行输出。

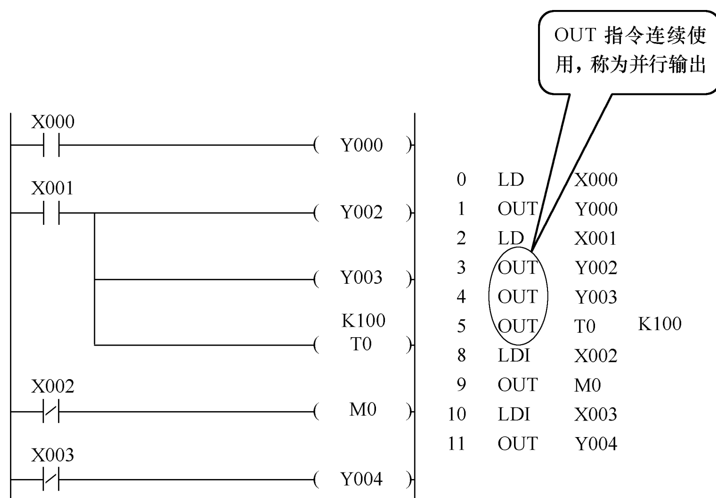



图 3-9 并行输出梯形图



如图3-10中，OUT M100指令之后，再通过T1的常开触点去驱动Y2。这种在OUT指令之后，再通过其他触点去驱动其他线圈的方式称为纵接输出。

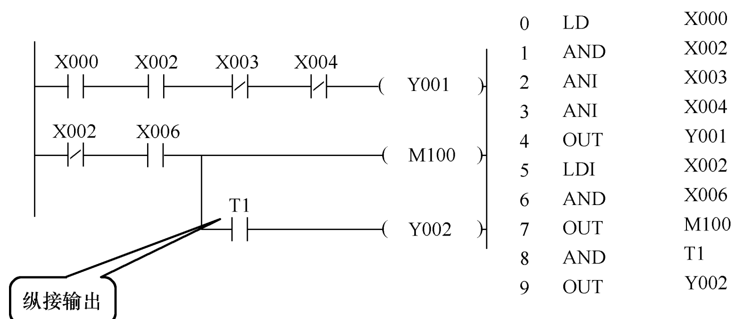



图3-10 纵接输出梯形图

如图3-11所示，各个输出线圈除了有相同的条件X0外，还有各自不同的控制条件去控制多个逻辑行。这种一个触点或触点组控制多个逻辑行的输出形式称为多路输出。

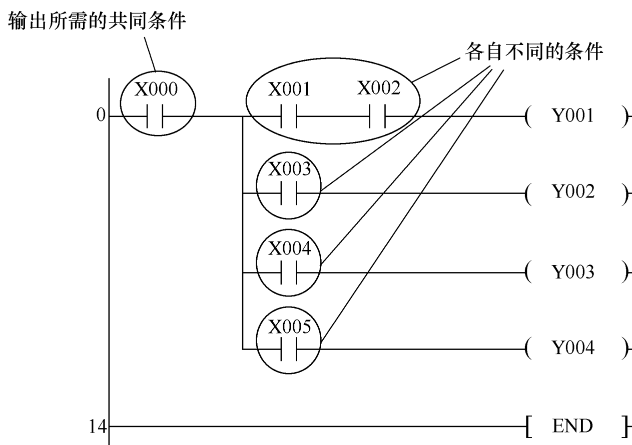



图3-11 多路输出梯形图

对于多路输出的梯形图，要想把它转换为指令表，需要用到栈指令或主控指令，下面我们分别来介绍一下。

2. 栈指令（MPS、MPP、MRD）

在FX系列PLC中有11个存储单元，如图3-12a所示，它们专门用来存储程序运算的中间结果，被称为栈存储器。对栈存储器的操作对应有三个栈指令：MPS、MPP和MRD。

MPS是进栈指令，其作用是将运算结果送入栈存储器的第一个单元，同时将先前送入的数据依次移到栈的下一个单元。

MPP是出栈指令，其作用是将栈存储器第一个单元的数据（最后进栈的数据）读出且该数据从栈中消失，同时将栈中其他数据依次上移。

MRD是读栈指令，其作用是将栈存储器第一个单元的数据（最后进栈的数据）读出且该数据继续保存在栈存储器的第一个单元，栈内的数据不发生移动。

栈指令用在某一个电路块与其他不同的电路块串联，以便实现驱动不同线圈的场合，即用于多重输出电路。其应用如图3-12b所示。

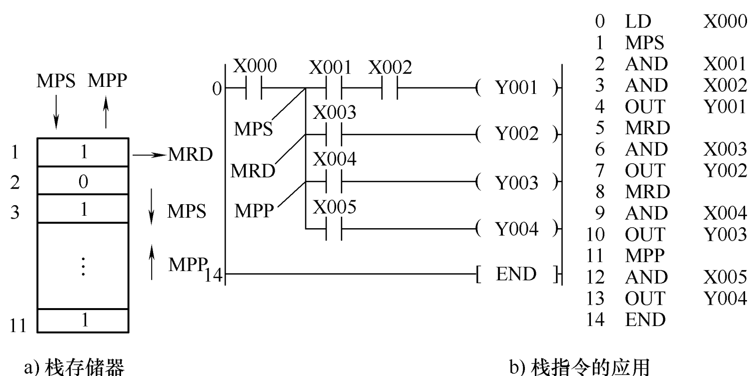



图3-12 栈存储器及栈指令的应用

指令使用说明：

1）栈指令没有目标元件。

2）MPS和MPP指令必须配对使用。

3）栈存储器只有11个单元，所以栈最多为11层。图3-13所示为一层堆栈使用实例，图3-14所示为二层堆栈使用实例。

4）栈指令在应用时遵循先进后出、后进先出的原则。

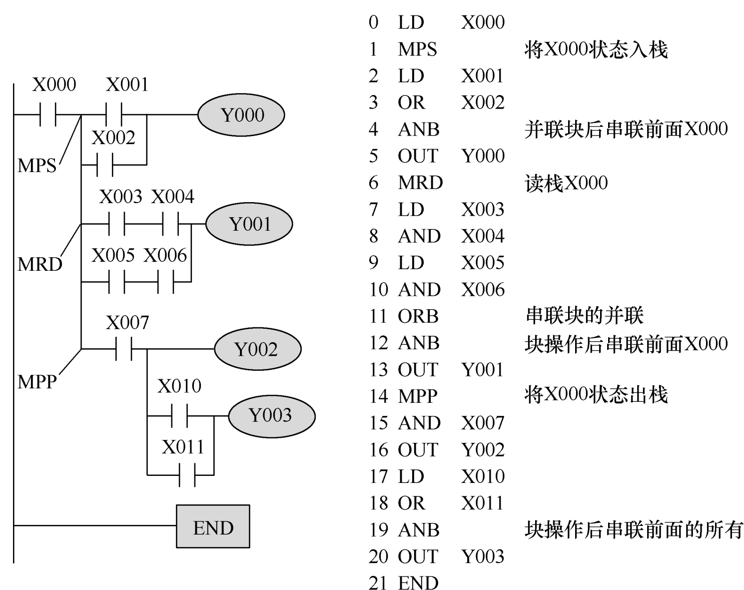



图3-13 一层堆栈指令的使用



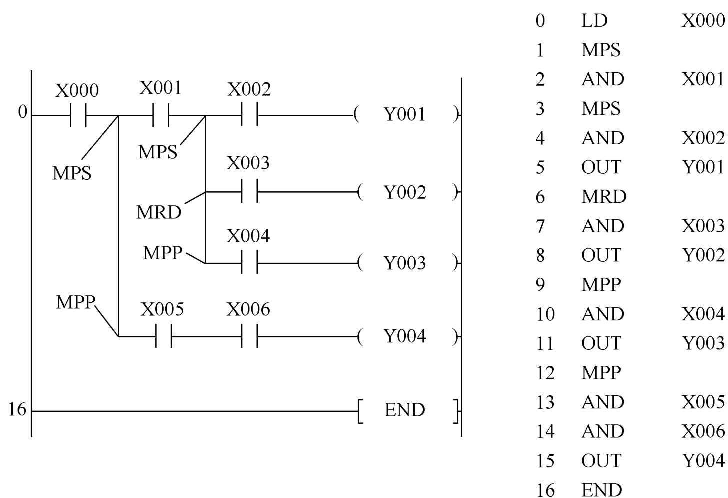



图 3-14　二层堆栈指令的使用

3. 主控指令（MC、MCR）

MC 是主控指令，其作用是用于公共串联触点的连接。执行 MC 后，左母线移到 MC 触点的后面，即产生一个临时左母线。

MCR 是主控复位指令，它是 MC 指令的复位指令，即利用 MCR 指令恢复原左母线的位置。

主控指令的使用如图 3-15 所示。利用 MC N0 M100 实现左母线右移，其中 N0 表示嵌套等级，利用 MCR N0 恢复到原先左母线的位置；如果 X0 断开，则会跳过 MC、MCR 之间的指令向下执行。

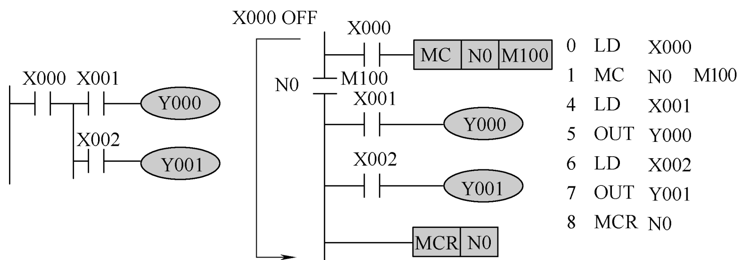



图 3-15　主控指令的使用（一）

图 3-16 所示为另一个主控指令的使用实例。

**指令使用说明：**

1）MC、MCR 指令的目标元件为 Y 和 M，不能是特殊辅助继电器。MC 占三个程序步，MCR 占两个程序步。

2）主控触点在梯形图中与一般触点垂直（如图 3-16 中的 M120）。与主控触点相连的触点必须用 LD 或 LDI 指令。

3）MC指令的输入触点断开时，在MC和MCR之内的积算定时器、计数器、用复位/置位指令驱动的元件保持其之前的状态不变。非积算定时器、计数器，以及用OUT指令驱动的元件将被复位，如图3-15中当X0断开，Y0和Y1即变为OFF。

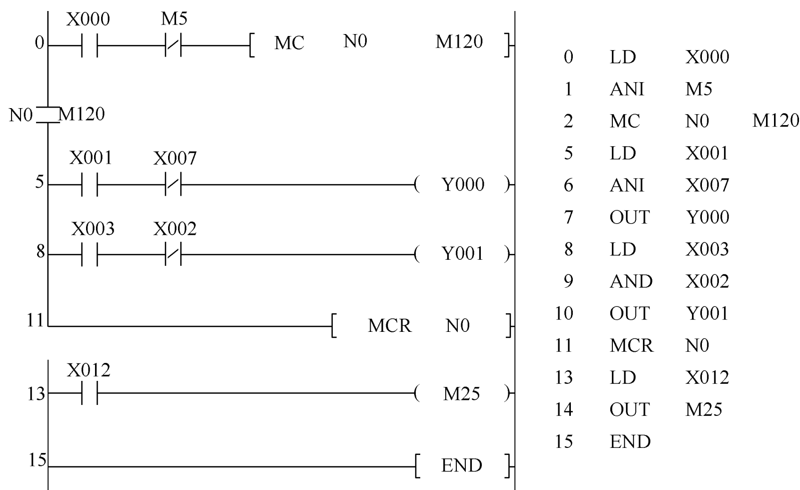



图3-16 主控指令的使用（二）

4）在一个MC指令区内若再次使用MC指令，则称为嵌套。主控指令的嵌套级数最多为8级，编号按N0→N1→N2→N3→N4→N5→N6→N7顺序增大，每级的返回用对应的MCR指令，复位时从编号大的嵌套级开始。

## 【名师点拨二】 基本逻辑指令的应用

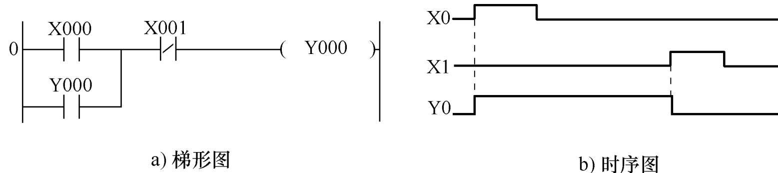
### 1. 基本起停控制程序

起动、停止的控制程序是最基本的常用控制程序。常用以下两种方法来实现。

(1) 起-保-停控制

图3-17中，X0是起动信号，X1是停止信号。

当X0为ON状态时，输出继电器Y0的线圈接通，并通过其常开触点形成自锁；当X1为ON状态时，输出继电器Y0的线圈断开，其常开触点断开。




a) 梯形图　　b) 时序图

图3-17 起停控制程序（一）



（2）置位、复位控制

起动和停止的控制也可以通过 SET、RST 指令来实现的，如图 3-18 所示。

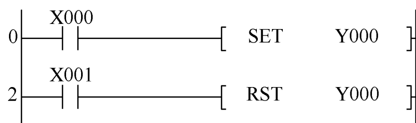



图 3-18 起停控制程序（二）

2. 脉冲产生程序

(1) 单脉冲发生器

在 PLC 的程序设计中，经常需要单个脉冲来实现计数器的复位，或作为系统的起动、停止信号。可以通过脉冲微分指令 PLS 和 PLF 指令来实现，如图 3-19 所示。

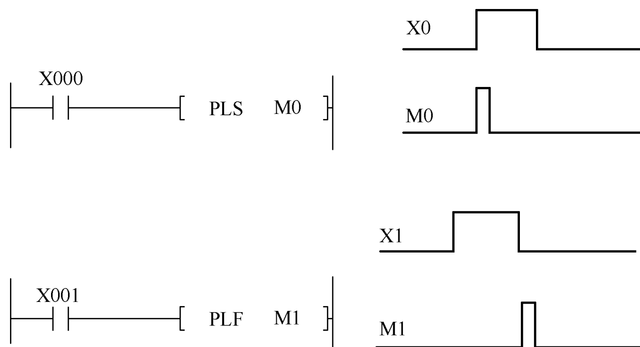
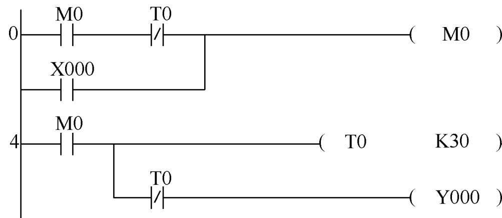
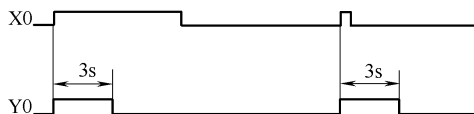



图 3-19 用脉冲微分指令产生单脉冲

在图 3-20 中，输入点 X0 每接通一次，就产生一个定时的单脉冲。无论 X0 接通时间长短如何，输出 Y0 的脉宽都等于定时器 T0 设定的时间。




a) 梯形图




b) 时序图

图 3-20 单脉冲发生器控制程序

(2) 连续脉冲发生器

在 PLC 程序设计中，经常需要一系列连续的脉冲信号作为计数器的计数脉冲或其他作用，连续脉冲可分为周期不可调和周期可调两种情况。

1) 周期不可调的连续脉冲发生器。

如图 3-21 所示，输入点 X0 接带自锁的按钮。利用辅助继电器 M1 产生一个脉宽为一个扫描周期、脉冲周期为两个扫描周期的连续脉冲。

其工作原理分析如下：

当 X0 常开触点闭合后，第一个扫描周期，M1 常闭触点闭合，所以 M1 线圈能得电；第二个扫描周期，因在上一个扫描周期 M1 线圈已得电，所以 M1 的常闭触点断开，因此使 M1 线圈失电。因此，M1 线圈得电时间为一个扫描周期。

M1 线圈不断连续地得电、失电，其常开触点也随之不断连续地闭合、断开，就产生了脉宽为一个扫描周期的连续脉冲信号输出，但是脉冲宽度和脉冲周期不可调。

2) 周期可调的连续脉冲发生器。

若要产生一个周期可调节的连续脉冲，可使用如图 3-22 所示的程序。

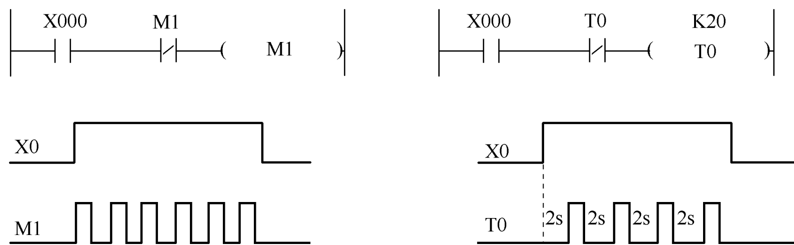



图 3-21 周期不可调连续脉冲发生器　　图 3-22 周期可调连续脉冲发生器

其工作原理分析如下：

当 X0 常开触点闭合后，在第一个扫描周期，T0 常闭触点闭合，T0 线圈得电。经过 2s 的延时，T0 的当前值和设定值相等，T0 的触点将要动作。所以在断开后的第一个扫描周期中，T0 常闭触点断开，使 T0 线圈失电。

在此后的下一个扫描周期，T0 常闭触点恢复闭合，又使 T0 线圈得电，重复以上动作，就产生了脉宽为一个扫描周期、脉冲周期为 2s 的连续脉冲。

可以通过改变 T0 的设定值来改变连续脉冲的周期。

## 第二节　定时器与计数器

前面我们简单认识了定时器和计数器，下面我们具体来学习定时器和计数器的特点和应用。

## 一、定时器

定时器的功能类似于继电控制里的时间继电器，其工作原理可以简单的叙述为：定时器是根据对时钟脉冲（常用的时钟脉冲有100ms、10ms、1ms三种）的累积而定时的，当所计的脉冲个数达到所设定的数值时，其输出触点动作（常开闭合、常闭断开）。设定值K可用常数或数据寄存器D的内容来进行设定。

FX2N系列PLC共有256个定时器，可以分为非积算型和积算型两种。

1. 非积算定时器

100ms的定时器共200点（T0～T199），设定值为1～32767，所以其定时范围为0.1～3276.7s。

10ms的定时器共46点（T200～T245），设定值为1～32767，所以其定时范围为0.01～327.67s，非积算定时器的动作过程如图3-23所示。

在图3-23中我们可以看到，发生断电或输入X0断开时，定时器T30的线圈和触点均发生复位，再上电之后重新开始计数，所以称其为非积算定时器。

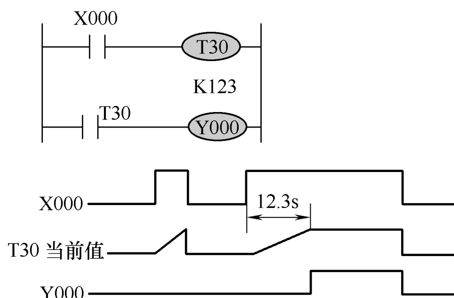



图3-23 非积算定时器的动作过程示意图

2. 积算定时器

积算定时器具备断电保持功能，在定时过程中如果断电或定时器的线圈断开，积算定时器将保持当前的计数值；再上电或定时器线圈接通后，定时器将继续累积。只有将定时器强制复位后，当前值才能变为0。

1ms的积算定时器共4点（T246～T249），对1ms的脉冲进行累积计数，定时范围为0.001～32.767s。

100ms的定时器共6点（T250～T255），设定值为1～32767，定时范围为0.1～3276.7s。

积算定时器的动作过程如图3-24所示。

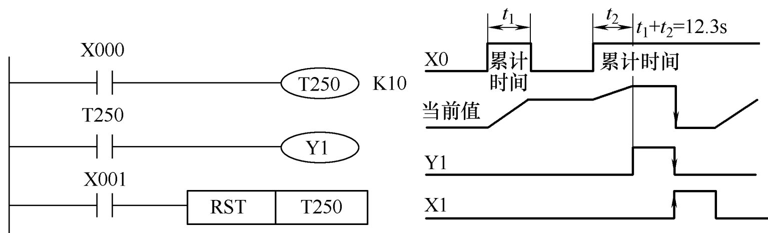



图3-24 积算定时器的动作过程示意图

## 二、计数器

计数器可以对 PLC 的内部元件（如 X、Y、M、T、C 等）进行计数。其工作原理是，当计数器的当前值与设定值相等时，计数器的触点将要动作。

FX2N 系列计数器主要分为内部计数器和高速计数器两大类。

内部计数器又可分为 16 位增计数器和 32 位双向（增减）计数器。计数器的设定值范围：1 ~ 32767（16 位）和-214783648 ~ +214783647（32 位）。

1. 16 位增计数器

16 位增计数器包括 C0 ~ C199 共 200 点，其中 C0 ~ C99 共 100 点为通用型；C100 ~ C199 共 100 点为断电保持型（断电后能保持当前值，待通电后继续计数）。16 位增计数器其设定值在 K1 ~ K32767 范围内有效，设定值 K0 与 K1 意义相同，均在第一次计数时，其触点动作。16 位增计数器的动作示意图如图 3-25 所示。

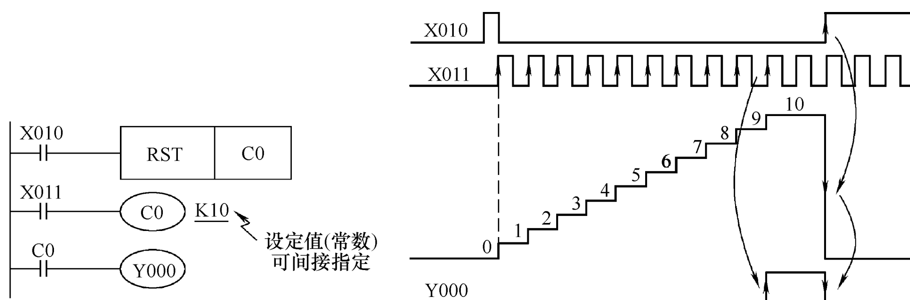



图 3-25　16 位增计数器的动作示意图

在图 3-25 中，X10 为计数器 C0 的复位信号，X11 为计数器 C0 的计数信号。当 X11 来第 10 个脉冲时，计数器 C0 的当前值与设定值相等，所以 C0 的常开触点动作，Y0 得电。如果 X10 为 ON，则执行 RST 指令，计数器 C0 被复位，C0 的输出触点被复位，Y0 失电。

2. 32 位双向计数器

32 位双向计数器包括 C200 ~ C234 共 35 点，其中 C200 ~ C219 共 20 点为通用型；C220 ~ C234 共 15 点为断电保持型。由于它们可以实现双向增减的计数，所以其设定范围为 −214783648 ~ +214783647（32 位）。

C200 ~ C234 是增计数还是减计数，可以分别由特殊的辅助继电器 M8200 ~ M8234 设定。当对应的特殊的辅助继电器为 ON 状态时，为减计数；否则为增计数，其使用方法如图 3-26 所示。

X12 控制 M8200：X12 = OFF 时，M8200 = OFF，计数器 C200 为加计数；X12 = ON 时，M8200 = ON，计数器 C200 为减计数。X13 为复位计数器的复位信号，X14 为计数输入信号。

如图 3-26 中，利用计数器输入 X14 驱动 C200 线圈时，可实现增计数或减计数。在计数器的当前值由 −5 到 −4 增加时，则输出点 Y1 接通；若输出点已经接通，则输出点则断开。

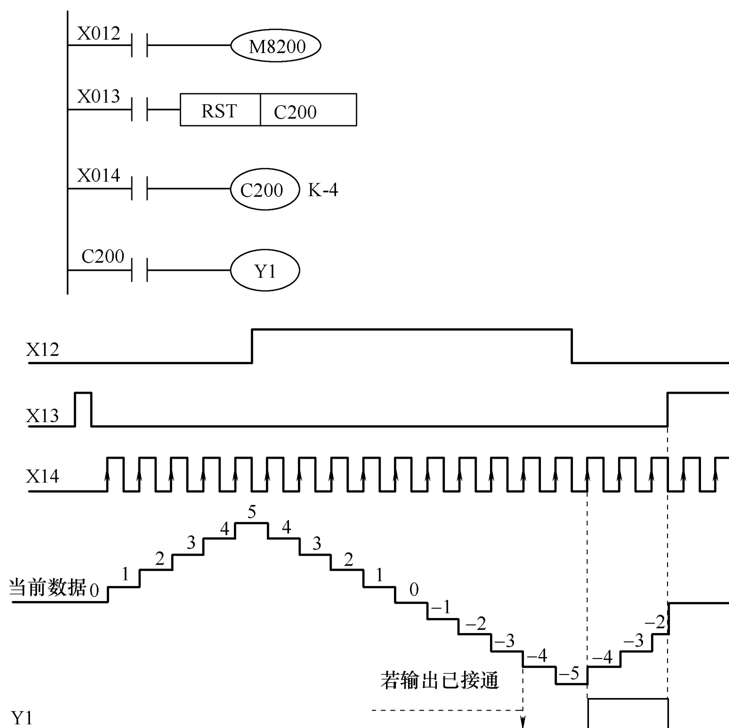



图 3-26　双向计数器的动作示意图

3. 高速计数器

高速计数器采用中断方式进行计数，与 PLC 的扫描周期无关。与内部计数器相比除允许输入频率高之外，应用也更为灵活，高速计数器均有断电保持功能，通过参数设定也可变成非断电保持。

元件使用说明：

1）计数器需要通过 RST 指令进行复位。

2）计数器的设定值可用常数 K，也可用数据寄存器 D 中的参数。

3）双向计数器在间接设定参数值时，要用编号紧连在一起的两个数据寄存器。

4）高速计数器采用中断方式对特定的输入进行计数，与 PLC 的扫描周期无关。

**【名师点拨】　用定时器与计数器实现的时间控制程序**

FX 系列 PLC 的定时器为通电延时定时器，其工作原理是，定时器线圈通电后，开始延时，待定时时间到，触点动作；在定时器的线圈断电时，定时器的触点瞬间复位。

但是在实际应用中，我们常遇到如断电延时、限时控制、长延时等控制要求，这些都可以通过程序设计来实现。

1. 通电延时控制

延时接通控制程序如图3-27所示。它所实现的控制功能是，X1接通5s后，Y0才有输出。

工作原理分析如下：

当X1为ON状态时，辅助继电器M0的线圈接通，其常开触点闭合自锁，可以使定时器T0的线圈一直保持得电状态。

T0的线圈接通5s后，T0的当前值与设定值相等，T0的常开触点闭合，输出继电器Y0的线圈接通。

当X2为ON状态时，辅助继电器M0的线圈断开，定时器T0被复位，T0的常开触点断开，使输出继电器Y0的线圈断开。

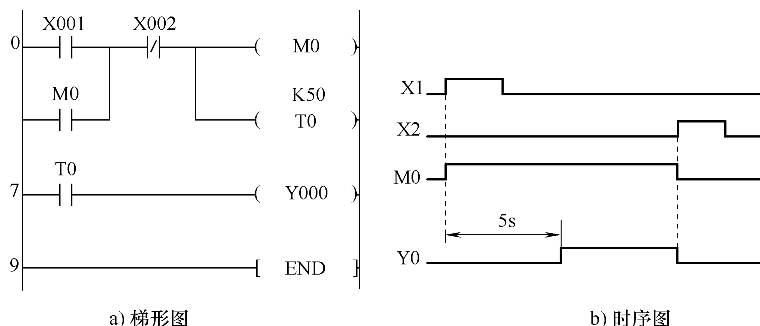



图3-27　延时接通控制程序及时序图

2. 断电延时控制

延时断开控制程序如图3-28所示。它所实现的控制功能是，输入信号断开10s后，输出才停止工作。

工作原理分析如下：

当X0为ON状态时，辅助继电器M0的线圈接通，其常开触点闭合，输出继电器Y3的线圈接通。但是定时器T0的线圈不会得电（因为其前面X000常闭触点是断开状态）。

当X0由ON变为OFF状态，M0常开触点、T0常闭触点和X000常闭触点都处于接通状态，定时器T0开始计时。10s后，T0的常闭触点打开，M0的线圈失电，输出继电器Y0断开。

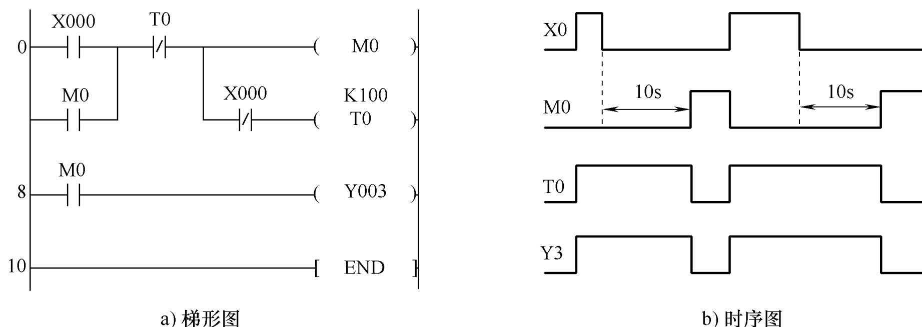



图3-28　延时断开控制程序及时序图



### 3. 限时控制

在实际工程中，常遇到将负载的工作时间限制在规定时间内的控制。这可以通过如图3-29所示的程序来实现，它所实现的控制功能是，控制负载的最大工作时间为10s。

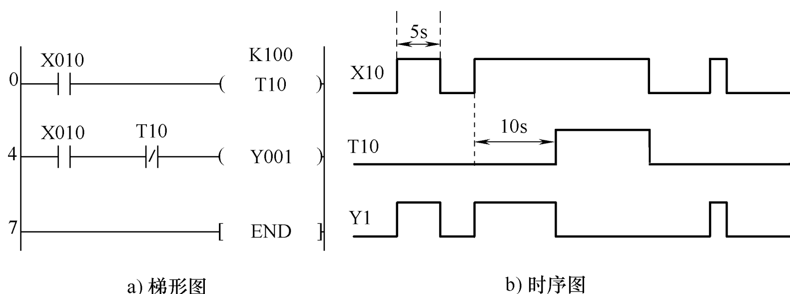



图3-29 控制负载的最大工作时间

如图3-30所示的程序可以实现控制负载的最少工作时间。该程序实现的控制功能是，输出信号Y2的最少工作时间为10s。

### 4. 长时间延时控制程序

在PLC中，定时器的定时时间是有限的，最大为3276.7s，还不到1h。要想获得较长时间的定时，可用两个或两个以上的定时器串级实现，或将定时器与计数器配合使用，也可以通过计数器与时钟脉冲配合使用来实现。

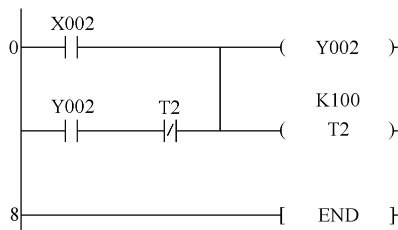



图3-30 控制负载的最小工作时间

(1) 定时器串级使用

定时器串级使用时，其总的定时时间为各个定时器设定时间之和。

图3-31是用两个定时器完成1.5h的定时，定时时间到，Y0得电。

(2) 定时器和计数器组合使用

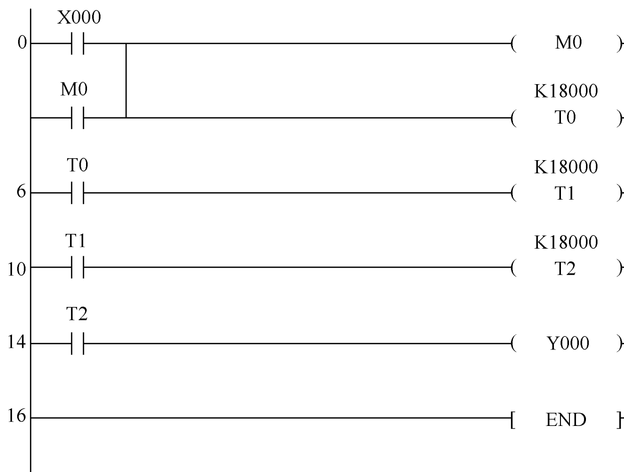



图3-31 两个定时器串级使用

图3-32是用一个定时器和一个计数器完成1h的定时。

当X0接通时，M0得电并自锁，定时器T0依靠自身复位产生一个周期为100s的脉冲序列，作为计数器C0的计数脉冲。当计数器计满36个脉冲后，其常开触点闭合，使输出Y0接通。从X0接通到Y0接通，延时时间为100s×36＝3600s，即1h。

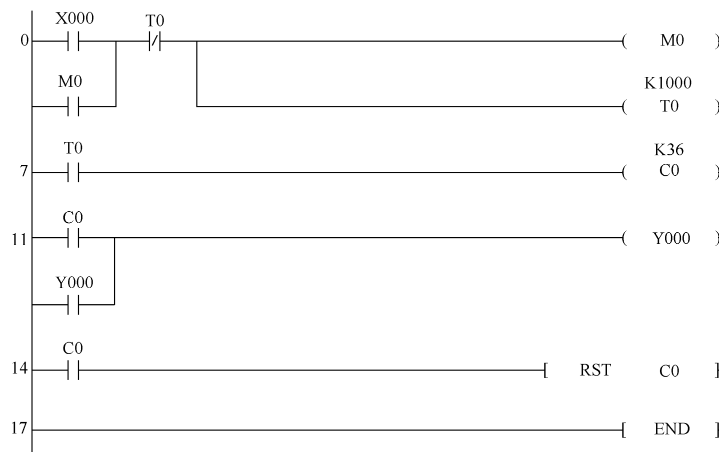



图3-32 定时器和计数器组合使用

（3）两个计数器组合使用

图3-33是用两个计数器完成1h的定时。

以M8013（1s的时钟脉冲）作为计数器C0的计数脉冲。当X0接通时，计数器C0开始计时。

计满60个脉冲（60s）后，其常开触点C0向计数器C1发出一个计数脉冲，同时使计数器C0复位。

计数器C1对C0脉冲进行计数，当计满60个脉冲后，C1的常开触点闭合，使输出Y0接通。从X0接通到Y0接通，定时时间为60s×60＝3600s，即1h。

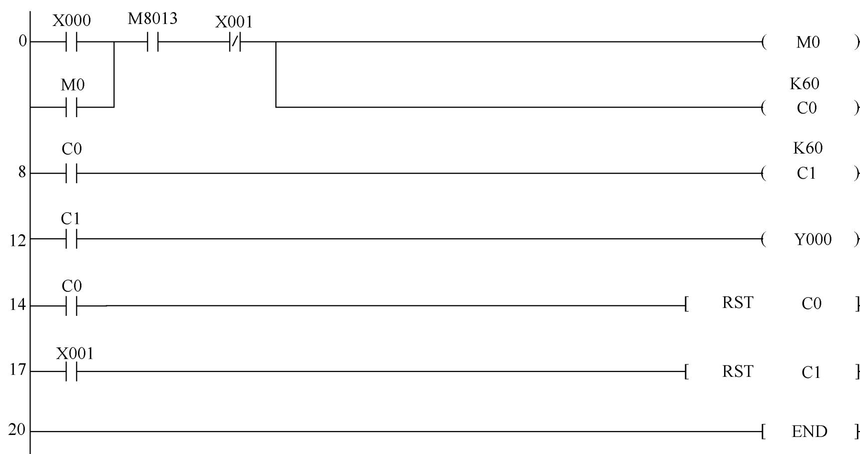



图3-33 两个计数器组合使用

5. 开机累计时间控制程序

PLC 运行累计时间控制电路可以通过 M8000、M8013 和计数器等组合使用，编制秒、分、时、天、年的显示电路。在这里，需要使用断电保持型的计数器（C100～C199），这样才能保证每次开机的累计时间能计时，如图 3-34 所示。

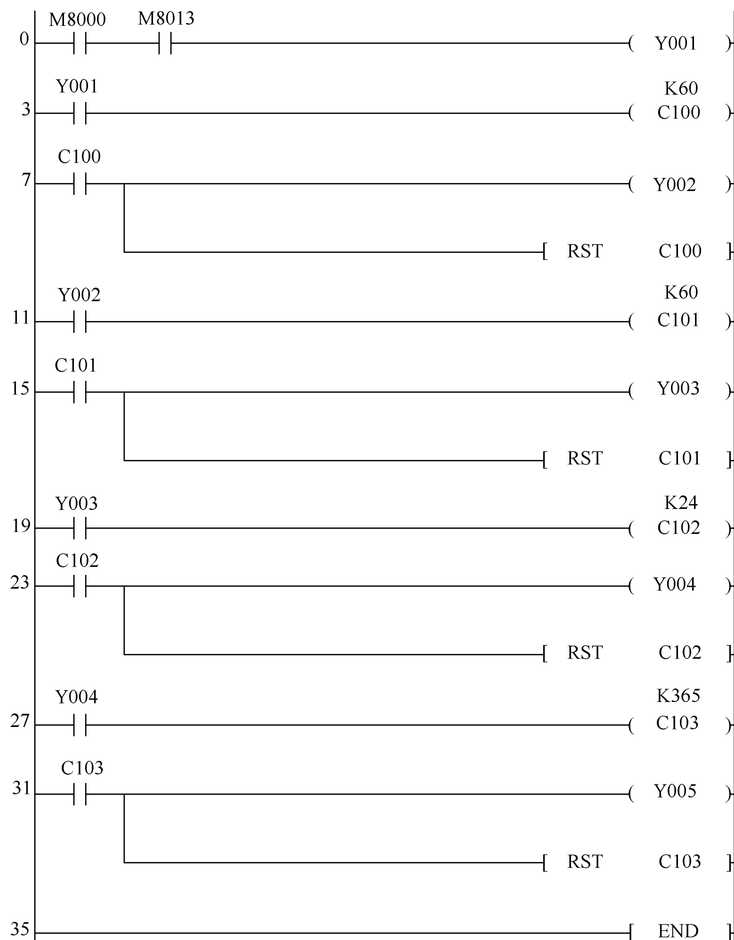



图 3-34 开机累计时间控制程序

# 第三节 梯形图的编程原则与编程方法

## 一、梯形图的编程原则

梯形图是 PLC 最常用的编程语言，我们已经在前面认识了一些梯形图，它们在形式上类似于继电控制电路，但两者在本质上又有很大的区别。

1. 关于左、右母线

梯形图的每一个逻辑行必须从左母线开始，终止于右母线。但是它与继电控制的不同是，梯形图只是PLC形象化的一种编程语言，左、右母线之间不接任何电源，所以我们认为每个逻辑行有假想的电流从左向右流动，并没有实际的电流流过。

画梯形图时必须遵循以下两点原则：

1）左母线只能连接各软元件的触点，软元件的线圈不能直接接左母线。

2）右母线只能直接接各类继电器的线圈（输入继电器X除外），软元件的触点不能直接接右母线。

2. 关于继电器的线圈和触点

1）梯形图中所有软元件的编号，必须是在PLC软元件表所列的范围之内，不能任意使用。同一线圈的编号在梯形图中只能出现一次，而同一触点的编号在梯形图中可以重复出现。同一编号的线圈在程序中使用两次或两次以上，称为双线圈输出，如图3-35所示。双线圈输出的情况只有在后面将要讲到的步进指令编程中才允许使用。一般程序中如果出现双线圈输出，容易引起误操作，编程时要注意避免这种情况发生。

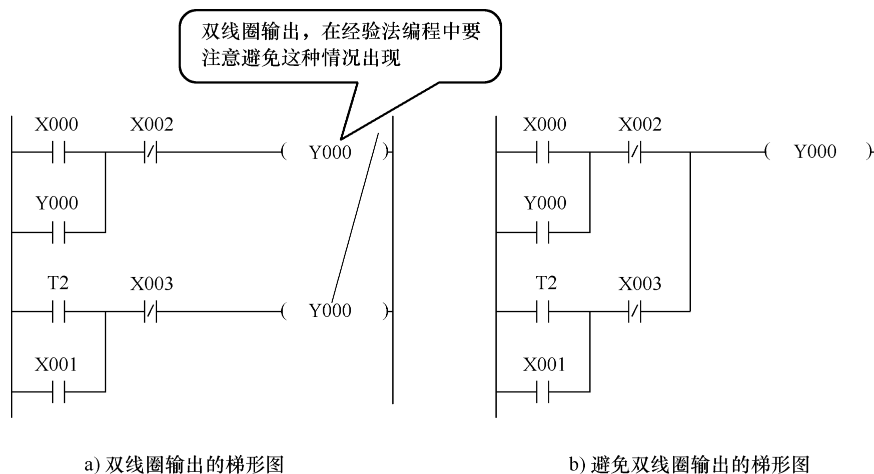



图3-35　双线圈输出

2）在梯形图中，只能出现输入继电器的触点，不能出现输入继电器的线圈。因为在梯形图里出现的线圈一定是要由程序驱动的，而输入继电器的线圈只能由对应的外部输入信号来驱动。

3）梯形图中，不允许出现PLC所驱动的负载，只能出现相应的输出继电器的线圈。因为当输出继电器的线圈得电时，就表示相应的输出点有信号输出，相应的负载就被驱动。

4）梯形图中所有的触点应按从上到下、从左到右的顺序排列，触点只能画在水平方向上（主控触点除外）。

3. 关于合理设计梯形图

1）在每个逻辑行中，要注意“上重下轻”、“左重右轻”。即串联触点多的电路

块应安排在最上面，这样可以省去一条ORB“块或”指令，这时电路块下面可并联任意多的单个触点，如图3-36所示；并联触点多的电路块应安排在最前面，这样可以省去一条ANB“块与”指令，这时电路块后面可串联任意多的单个触点，如图3-37所示。

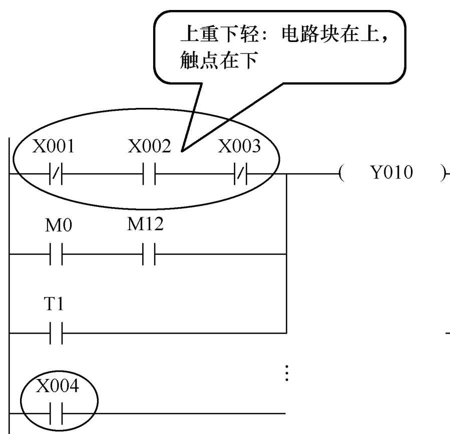



图3-36　ORB指令的应用

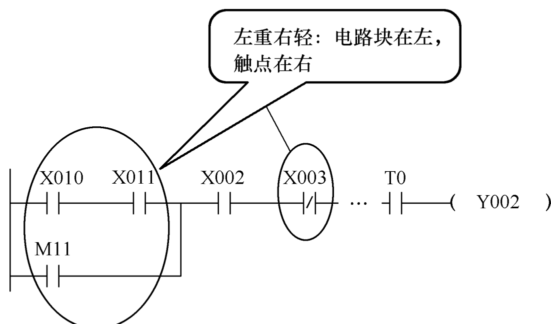



图3-37　ANB指令的应用

2）如果多个逻辑行中都具有相同的控制条件，可将每个逻辑行中相同的部分合并在一起，共用同一个控制条件，以简化梯形图。这样可以用主控指令（MC、MCR）进行指令表的编写。

3）设计梯形图时，一定要了解PLC的扫描工作方式。在程序处理阶段，对梯形图按从上到下、从左到右的顺序逐一扫描处理，不存在几条并列支路同时动作的情况。理解了这一点，就可以设计出更加清晰简洁的梯形图。

## 二、PLC的基本编程方法

PLC的基本编程方法有三种：经验设计法、顺序控制设计法、继电器控制电路移植法。

1. 经验设计法

经验设计法适合用于比较简单的控制系统中。经验设计法没有固定的模式，一般是根据控制要求，凭借平时积累的经验，利用一些典型的基本控制程序来完成程序设计的。

图3-38所示为三相异步电动机连续运行控制的梯形图，其控制过程为：按下起动按钮SB1，常开触点$\overset{X000}{\dashv\vdash}$闭合，$\overset{X000}{\dashv\vdash}$作为Y0的“起动”条件，能使Y0线圈得电；Y0线圈得电后，常开触点$\overset{Y000}{\dashv\vdash}$闭合，实现自锁“保持”，所以能保证Y0线圈持续得电。若要停止运行，则按下停止按钮SB2，则输入继电器X1得电，常闭触点$\overset{X001}{\dashv/\vdash}$断开，则Y0线圈失电，起到“停止”的作用。所以$\overset{X000}{\dashv\vdash}$、$\overset{Y000}{\dashv\vdash}$、$\overset{X001}{\dashv/\vdash}$分别是起动、保持和停止的条件。

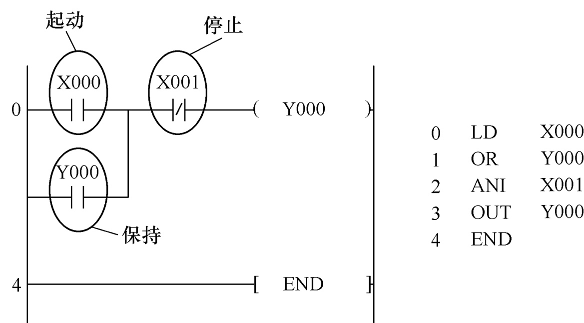



图 3-38　三相异步电动机连续运行梯形图

今后我们在经验设计法编程时，最常使用的就是“起-保-停”思路，即根据控制要求，找到控制输出所需要的各个起动、保持和停止条件，再通过“与”、“或”、“非”等逻辑关系把这些条件连接起来进行输出控制即可。

2. 顺序控制设计法

对于较复杂的控制系统，一般采用顺序控制设计法。

顺序控制就是按照生产工艺预先设定的顺序，首先画出系统的顺序功能图（见图 3-39 所示），然后再选择合适的编程方式，设计出梯形图程序。具体方法将在第四章中进行介绍。

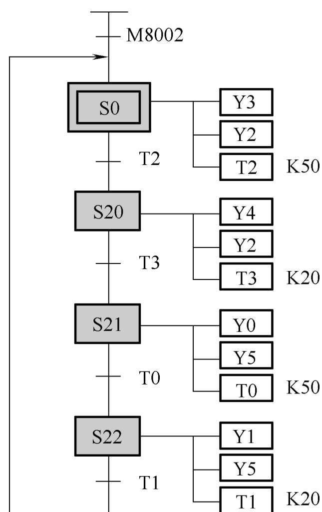
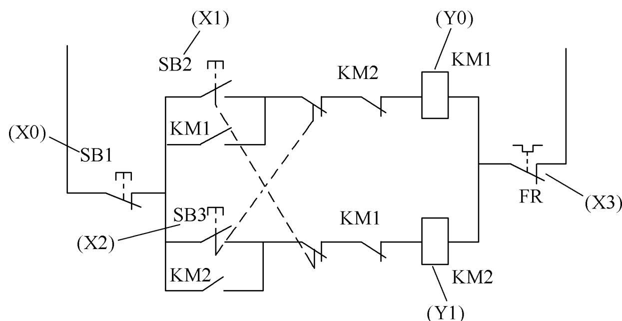



图 3-39　顺序功能图

3. 继电器控制电路移植法

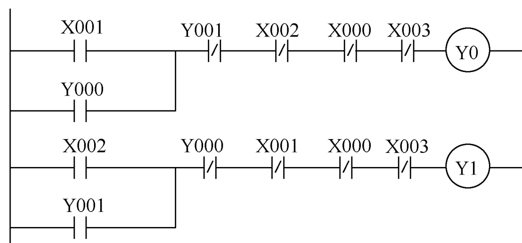
我们所熟知的继电器控制系统的控制电路图和梯形图在表示方法和分析方法上有很多相似之处，因此可以根据继电器电路图来设计梯形图，即通过继电器控制电路移植法实现 PLC 的程序设计。图 3-40a 所示为三相异步电动机双重联锁正反转控制的电路图，通过移植法可以得到 PLC 的梯形图，如图 3-40b 所示。




a) 继电器控制电路图

图 3-40　继电器控制电路移植法编程






b) PLC梯形图

图 3-40　继电器控制电路移植法编程（续）

【名师点拨】　梯形图编程的常见问题与处理方法

问题 1：如何注意线圈的位置？

线圈与右母线相连，特别是在继电器控制电路移植法编程时，要注意必须通过位置的移动来使线圈与右母线相连，如图 3-41 所示。

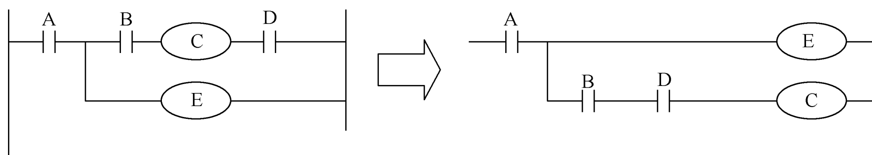



图 3-41　线圈的位置

问题 2：程序是如何执行的？

程序的执行顺序是，从上到下，从左到右，如图 3-42 所示。

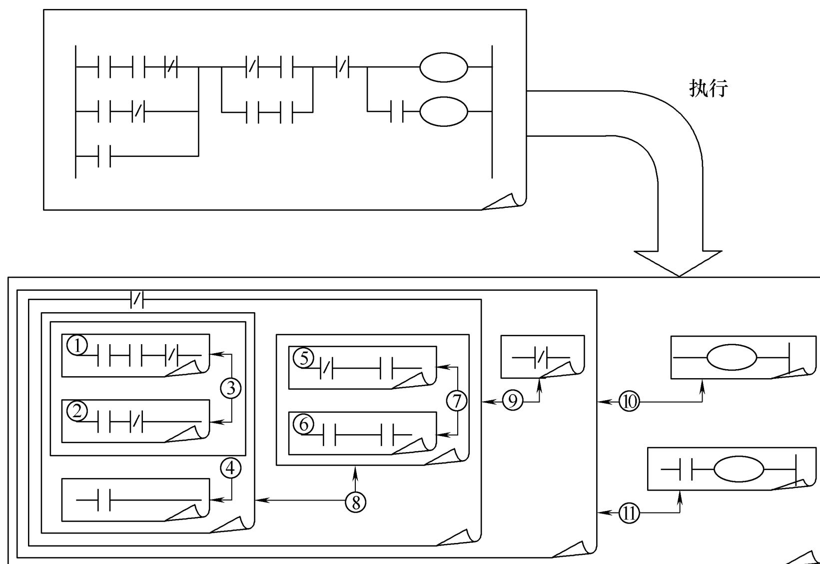



图 3-42　程序的执行顺序

问题3：桥式电路如何处理？

如图3-43所示，对于桥式电路，改变双向电流流动的回路，即将没有D时的回路和没有B时的回路并联。

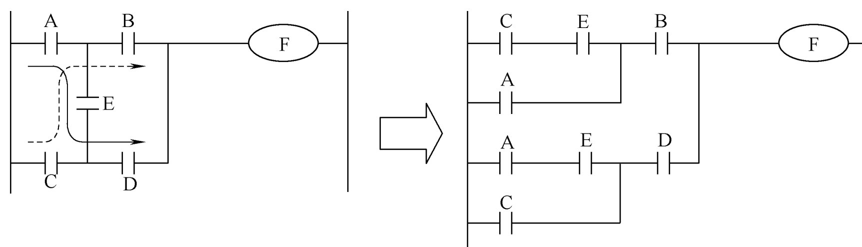



图3-43　桥式电路的处理

问题4：如何灵活处理双线圈问题？

图3-44是双线圈问题的另一个处理方法：借助于辅助继电器来避免双线圈问题。

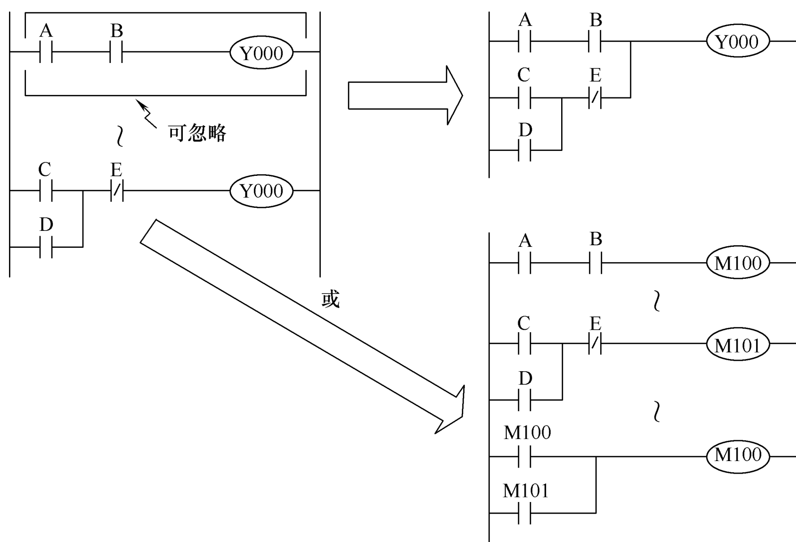



图3-44　借助辅助继电器解决双线圈问题

## 第四节　小型PLC控制系统的设计

### 一、控制系统设计的步骤

1. 了解被控制系统

在设计前要详细分析被控对象、控制过程和要求，熟悉工艺流程及所有的功能和指标

要求。例如，机械部件的动作顺序、动作条件及必要的保护与联锁，系统的工作方式（手动、自动），PLC 与其他智能设备（变频器、触摸屏）之间的关系，PLC 的通信联网，物理量的显示与显示方式，电源突然停电及紧急情况的处理等。

分类统计好 PLC 的输入信号和输出所控制的负载，并进一步分析各输入输出量的性质（是开关量还是模拟量、是直流量还是交流量、电压等级的大小等）。

2. 进行与硬件有关的设计

（1） 确定 PLC 的型号和硬件配置

1） PLC 物理结构的选择。

PLC 可分为整体式和模块式两种，小型控制系统一般使用整体式 PLC。

模块式 PLC 的特点是功能扩展方便灵活，并且还配有多种特殊的 I/O 模块供用户使用，可完成各种特殊的控制任务，在判断故障范围和维修更换模块时也很方便。在较复杂、性能要求高的系统中一般采用模块式 PLC。

2） PLC 存储器的容量选择。

仅需开关量控制的系统，将 I/O 点数乘以 8，就是所需要的存储器的字数，这一要求一般都能满足。

只有模拟量输入、没有模拟量输出的系统，按每路模拟量准备 100 个存储器字。

既有模拟量输入又有模拟量输出的系统，一般要求对模拟量作闭环控制，涉及的运算复杂，估计时可按每路模拟量准备 200 个存储器字。

当然在考虑以上容量时，需要留出一定的裕量。

3） PLC I/O 点数的确定。

确定 I/O 点数时，首先要准确统计出被控设备对 PLC I/O 点数的总需求，然后在此基础上，留出 10% ~20% 的裕量，以便今后对系统进行改进和扩充。对于整体式结构的 PLC，如果与系统要求的 I/O 点数的比例相差很大，可以选用只有输入点或只有输出点的扩展单元或扩展模块。

根据以上几点，选择出合适的 PLC 的型号。另外，同一企业应尽量使 PLC 的机型统一，或者尽可能只使用同一生产厂家的 PLC。对于需要联网通信的控制系统，更要注意机型的统一，以便其模块可相互换用，便于备件采购和管理。对有特殊控制要求系统，可选用有相同或相似功能的 PLC。

4） 开关量 I/O 模块的选择。

开关量 I/O 模块按外部接线方式分为隔离式、分组式和汇总式，如果信号之间不需要隔离，可选用后两种。

开关量输入模块的输入电压一般为 DC24V 和 AC220V。直流输入电路的延迟时间较短，可直接与接近开关、光电开关等电子输入装置连接。交流输入方式的触点接触可靠，适合在油雾、粉尘等恶劣环境下使用。

开关量输出模块有三种类型：继电器输出、双向晶闸管输出、晶体管输出。继电器输出模块可用于交流负载和直流负载，其触点工作电压范围广，导通电压降小，承受瞬时过电压和过电流的能力较强，但是动作速度较慢，动作次数有一定的限制。若输出信号变化

不频繁，可优先选用继电器输出模块。

晶体管输出模块适用于直流负载，双向晶闸管输出模块适用于交流负载，它们的响应速度快、寿命长，但是过载能力差。

所以在进行开关量 I/O 模块的选择时要考虑负载电压的种类和大小、系统对延迟时间的要求、负载变化是否频繁等，还要注意同一输出模块对电阻性负载、电感性负载和灯负载的驱动能力的差异。具体可以参照 PLC 的使用手册。如某继电器输出模块的最高工作电压为交流 250V，则可以驱动 2A 的电阻性负载、80VA 的电感性负载或者 100W 的白炽灯负载。

输出模块的输出电流额定值应大于负载电流的最大值，并要考虑到输出电流随环境温度升高而降低。

5）通信功能的选择。

首先了解系统对 PLC 通信功能的要求。例如，需要与哪些设备通信、通信距离、信息传输的速率等。

如果距离较近的两台设备通信，如 PLC 与上位机之间的通信，可选用 RS232C 串行通信接口的 PLC，其最大通信距离为 15m，最高传输速率为 20kbit/s，只能一对一地通信。

如果是在多台设备间通信，可选用 RS422 和 RS485 串行通信接口。使用 RS422 时一台驱动器可连接 10 台接收器；RS485 使用双绞线实现多站互连，构成分布式系统，最多可有 32 个站。

选型时还要注意 PLC 是否配有通信用的专用指令，编程是否方便等。

（2）确定系统输入元件和输出元件的型号

输入元件，如按钮、指令开关、限位开关、接近开关、传感器等。

输出元件，如接触器、继电器、电磁阀、指示灯等。

（3）分配 PLC 的输入点和输出点

可以用表格的方式列出输入/输出信号，标明各个信号的意义、代号，并给各信号分配 PLC 中软元件的元件号。这一步主要为绘制硬件接线图和设计梯形图做准备。具体可参照 I/O 分配表。

（4）画出硬件接线图

这一步主要是结合前面给出的 I/O 分配表和输入、输出元件等，设计出 PLC 的外部硬件接线图，以及其他电气原理图、接线图和安装所需要的图样。

3. 设计梯形图程序

主要根据总体要求和控制系统的具体情况，确定用户程序的基本结构，画出程序流程图或顺序功能图。

较简单的系统的梯形图可以用经验设计法来设计；较复杂的系统的梯形图一般采用顺序控制设计法来设计。

4. 梯形图程序的模拟调试

1）对用户的梯形图程序一般先采用模拟调试，即用小开关和按钮来模拟 PLC 的实际输入信号（利用它们发出操作指令，或模拟实际的反馈信号，或模拟限位开关、传感器的接通和断开）。

2）通过输出模块上各输出继电器对应的发光二极管，来观察各输出信号的变化是否满足设计的要求。

3）在程序中如果定时器或计数器的设定值过大，可以在调试时将它们减小，以缩短调试时间。调试结束后再写入实际的设定值。

4）在顺序控制的调试中，主要是看程序的运行是否符合顺序功能图的规定，某一转换条件满足时，其前级步是否变为不活动步，其后续步是否变为活动步，以及各步所驱动的负载是否发生相应的变化。

5）调试时要充分考虑各种可能发生的情况，如果是顺序控制或多种工作方式，则要对每一条支路都逐一进行检查，不能遗漏。发现问题及时修改、再调试，直到完全符合控制要求为止。

6）在梯形图的设计和模拟调试的同时，可以设计、制作控制台、柜，PLC 之外的其他硬件接线的安装等也可以同时进行。

5. 现场总机调试

模拟调试通过后，进行实际的总装统调。先要仔细检查 PLC 外部设备接线是否正确，设备引脚上工作电压是否正常。在将用户程序传送到 PLC 之前，可先用一些短小的测试程序检测外部的接线状况，看看有无接线故障。进行这类预调时，要将主电路先行断开，避免误操作或电路故障损坏主电路元器件。一切确认无误后，将程序送入存储器进行总调试，直到各部分的功能都正常，协调一致成为一个正确的整体控制为止。如果发现问题，则要对硬件和软件的设计做出调整，直到完全符合要求。

6. 编写技术文件

根据调试的最终结果，要整理出完整的技术文件，再交付用户使用。技术文件应包括以下内容：

1）PLC 的外部接线图和其他电气图样。

2）PLC 的编程元件表，程序中所使用的各软元件（X、Y、M、S、T、C）的元件号、名称、功能，以及 T、C 的设定值等。

3）PLC 的顺序功能图、带注释的梯形图和必要的总体文字说明。

## 二、控制系统设计的注意事项

1）根据系统规模，确定是用 PLC 单机还是用 PLC 形成网络，并根据系统需要计算出 PLC 输入、输出点数，所选择的 PLC 的总点数一定要留有一定裕量，一般留出 10% 的裕量。

2）根据 PLC 输出端所带的负载性质（直流、交流），电流性质（大电流、小电流），以及 PLC 输出点动作的频率和负载的性质（电感性、电阻性）等，确定 PLC 输出端的类型（继电器输出、晶体管输出、晶闸管输出）。

3）根据系统的大小合理选择 PLC 存储容量与速度，一般存储容量越大、速度越快，价格就越高。

4）电源干扰主要是通过供电线路的阻抗耦合产生的，是干扰进入 PLC 的主要途径之一。如果有条件，可对 PLC 采用单独供电，以避免其他设备的起停对 PLC 产生干扰。在干扰较强或对可靠性要求很高的场合，可在 PLC 的交流电源输入端加接带屏蔽的隔离变压

器和低通滤波器。动力部分、控制部分、PLC 与 I/O 电源应分别配线，隔离变压器与 PLC、I/O 电源之间采用双绞线连接。系统的动力线应有足够的截面积，以降低线路压降。

5）PLC 上的 DC24V 电源容量小，使用时要注意其容量，作好短路保护措施。当负载需要外部 DC24V 电源时，应注意电源的“-”端不要与 PLC 的 DC24V 电源的“-”端及“COM”端相连，否则会影响 PLC 的运行。

6）根据不同的负载选择输出形式，继电器输出的优点是不同公共点之间可带不同的交直流负载，且电压也可不同，带负载电流可达 2A/点；其缺点是不适用于高频动作的负载。晶闸管输出的带负载能力为 0.2A/点，只能带交流负载，可适应高频动作，响应时间为 1ms。晶体管输出适应于高频动作，响应时间短，一般为 0.2ms 左右，但只能带 DC0.5A/点，每 4 点不得大于 0.8A。

7）若 PLC 输出带感性负载，负载断电时会对 PLC 的输出造成浪涌电流的冲击。为此，对直流感性负载并接续流二极管，对交流感性负载并接浪涌吸收电路，可有效保护 PLC。

8）对于 PLC 输出不能直接带动负载的情况，必须在外部采用驱动电路，还应采用保护电路和浪涌吸收电路，且每路有发光二极管（LED）指示。

9）PLC 不能与高压电器安装在同一个开关柜内，与 PLC 装在同一个开关柜内的电感性元件，如继电器、接触器的线圈应并联 RC 消弧电路或续流二极管。PLC 应远离强干扰源，如大功率晶闸管装置、高频焊机和大型动力设备等。

10）信号线与功率线应分开布线，不同类型线应分别装入不同管槽，信号应尽量靠近地线或接地的金属导体。当信号线长度超过 300m 时，应采用中间继电器转接信号或使用 PLC 远程 I/O 模块。

11）当模拟输入、输出信号距 PLC 较远时，宜采用 4～20mA 或 0～10mA 的电流传输方式，而不是电压传送方式。传送模拟信号的屏蔽层为一端接地。为了泄放高频干扰，数字信号线的屏蔽层应并联电位均衡线，并将屏蔽层两端接地。

**【名师点拨】 基本指令编程实例**

小型系统实现 PLC 控制，一般需要以下几个步骤：

1）分析控制要求后，进行 I/O 分配。

2）画出 PLC 接线图。

3）编写梯形图程序。

4）进行电路安装与调试。

下面我们通过几个应用实例来说明小型 PLC 控制系统的设计方法。

**实例一 三相异步电动机的正反转控制**

图 3-45 所示为三相异步电动机正反转控制电路：按下正转起动按钮 SB2，交流接触器 KM1 得电，三相异步电动机正转；按下反转起动按钮 SB3，交流接触器 KM2 得电，三相异步电动机反转；无论是正转还是反转，只要按下停止按钮 SB1，电动机都要停止。

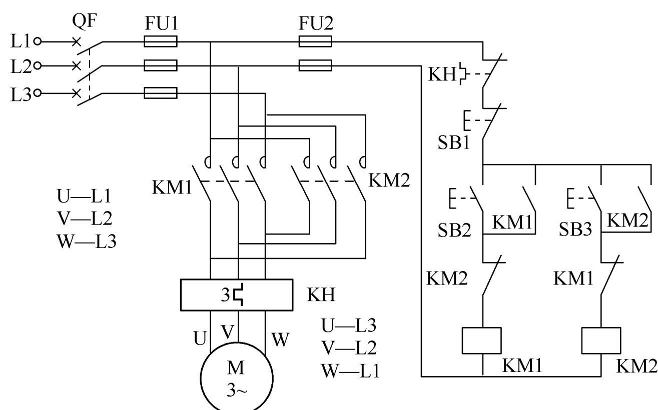



图 3-45 三相异步电动机正反转控制电路图

## 1. I/O 分配表（见表 3-2）

**表 3-2 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 正转起动 | SB2 | X0 | Y0 | KM1 | 正转用交流接触器 |
| 反转起动 | SB3 | X1 | Y1 | KM2 | 反转用交流接触器 |
| 停止按钮 | SB1 | X2 | | | |

## 2. 画出接线图（见图 3-46）

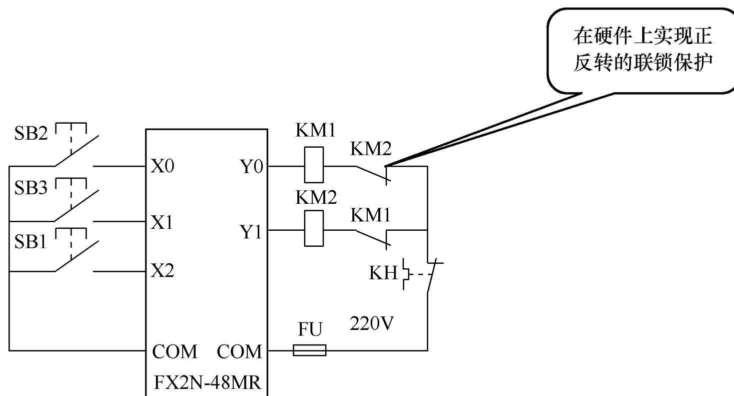
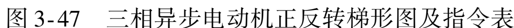



图 3-46 三相异步电动机正反转控制 PLC 接线图

## 3. 编写梯形图

根据任务要求编写梯形图及其指令表，如图 3-47 所示。

| | | |
|---|---|---|
| 0 | LD | X000 |
| 1 | OR | Y000 |
| 2 | ANI | X002 |
| 3 | ANI | Y001 |
| 4 | OUT | Y000 |
| 5 | LD | X001 |
| 6 | OR | Y001 |
| 7 | ANI | X002 |
| 8 | ANI | Y000 |
| 9 | OUT | Y001 |
| 10 | END | |


图 3-47　三相异步电动机正反转梯形图及指令表

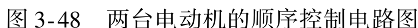
注意，梯形图中的Y001 —|/|—和Y000 —|/|—实现了软件（程序）上的联锁保护，用于防止主电路出现电源短路事故。

4. 安装与调试

完成 PLC 接线及程序录入，将录入的程序传送到 PLC，并进行调试，检查是否能完成正转、正转停止、反转、反转停止、正反转联锁等控制要求，直至运行符合控制要求方为成功。

### 实例二　两台电动机的顺序起动控制

有两台电动机，可以实现顺序控制，控制电路如图 3-48 所示。按下起动按钮 SB1，第一台电动机起动；在第一台已经起动的情况下，按下起动按钮 SB2，可以起动第二台电动机；按下停止按钮 SB3，两台电动机同时停止。


图 3-48　两台电动机的顺序控制电路图

1. I/O 分配表（见表 3-3）

**表 3-3 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| M1 的起动 | SB1 | X1 | Y1 | KM1 | M1 的交流接触器 |
| M2 的起动 | SB2 | X2 | Y2 | KM2 | M2 的交流接触器 |
| 停止按钮 | SB3 | X3 | | | |

2. 画出 PLC 接线图（见图 3-49）

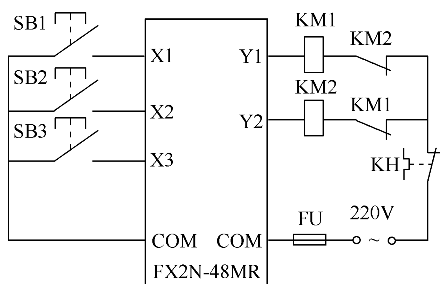



图 3-49 顺序控制 PLC 接线图

3. 编写梯形图（见图 3-50）

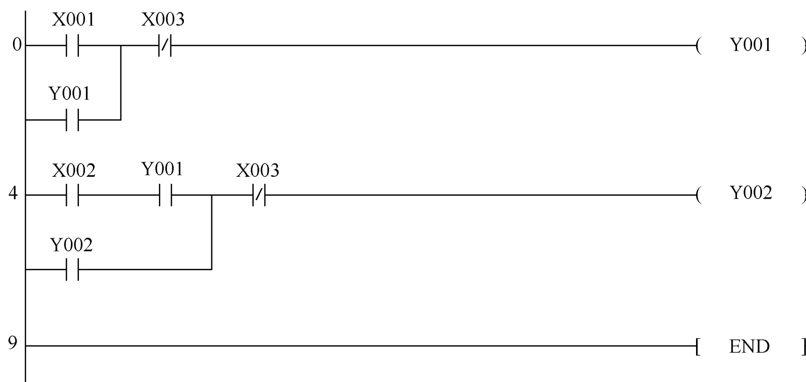



图 3-50 顺序控制梯形图

**实例三 灯光闪烁电路控制**

灯光闪烁电路是广泛应用的一种实用控制电路，它既可以控制灯光的闪烁频率，又可以控制灯光的通断时间比，而且用这些电路也可以实现对电铃、蜂鸣器等不同负载的控制。

控制要求：按下起动按钮 SB1 后，指示灯按照亮 3s 灭 2s 的效果闪烁。按下停止按钮 SB2，指示灯熄灭。

1. I/O 分配表（见表 3-4）

**表 3-4　I/O 分配表**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X0 | Y0 | HL | 指示灯 |
| 停止按钮 | SB2 | X1 | | | |

2. 画出 PLC 接线图（见图 3-51）

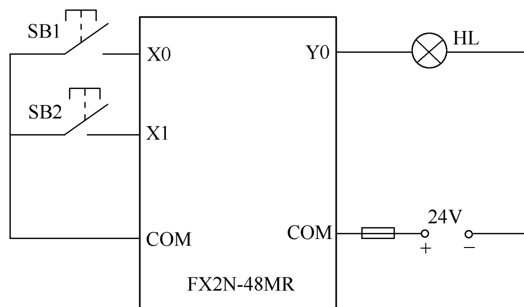



图 3-51　灯光闪烁电路控制 PLC 接线图

3. 编写梯形图（见图 3-52）

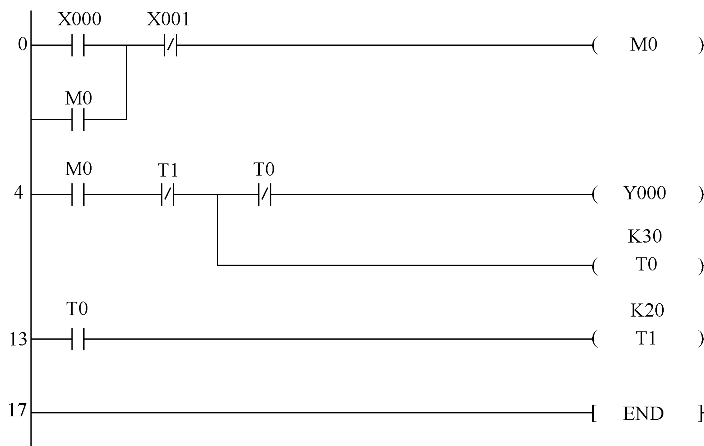



图 3-52　灯光闪烁控制梯形图

### 实例四　声光报警控制

设备在运行中，如果出现异常情况，则会发出声光报警。假设当条件 X1 = ON 时满足条件，则蜂鸣器鸣叫，同时报警灯连续闪烁 15 次，每次亮 3s，灭 2s，此后停止声光报警。

1. I/O 分配表（见表 3-5）

表 3-5　I/O 分配表

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 报警用开关 | SQ1 | X1 | Y0 | 蜂鸣器 | 声音报警 |
| | | | Y1 | 报警灯 | 光报警 |

2. 画出梯形图（见图 3-53）

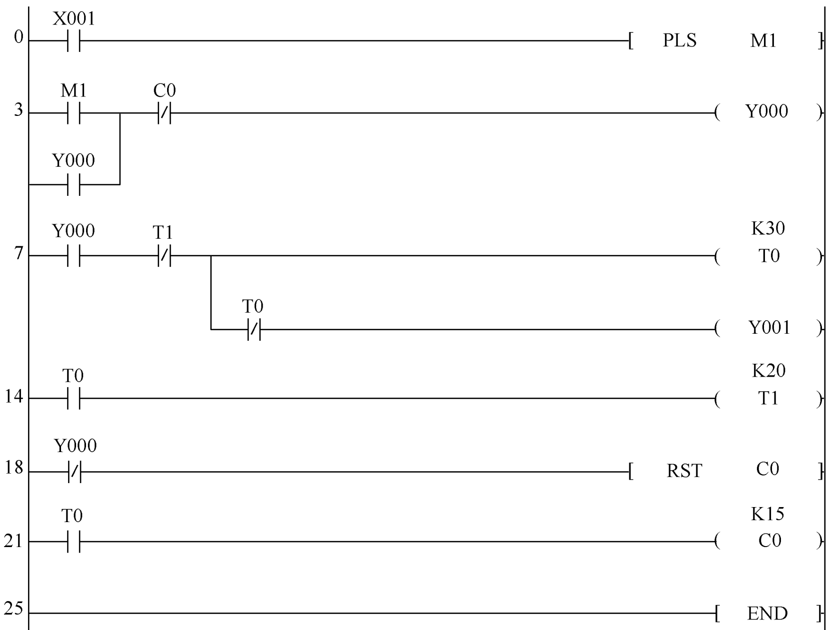



图 3-53　声光报警电路梯形图

### 实例五　单按钮控制一台电动机的起动

通常一个电路的起动和停止是由两只按钮分别完成的，当一台 PLC 控制多个这种需求的起停电路时，将占用很多输入点，有可能会面临输入点不足的情况，这时可以用单个按钮实现起停控制。

控制要求如下：

用单按钮实现三相异步电动机的起动和停止控制。具体要求是，第一次按按钮SB1，电动机起动运行；第二次按按钮，电动机停止运行；第三次按按钮，电动机再次起动……依次循环。

I/O分配表如表3-6所示

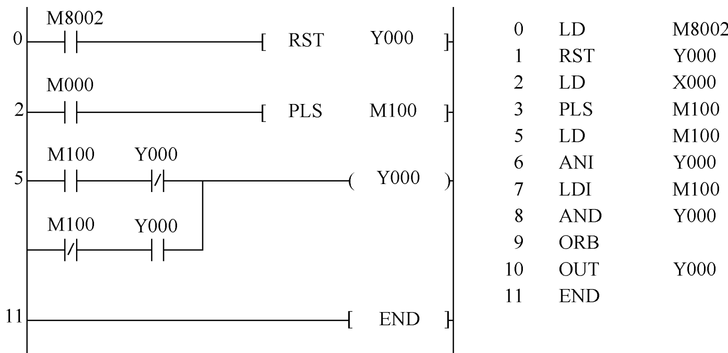
**表3-6　I/O分配表**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起停开关 | SB1 | X0 | Y0 | KM1 | M1的交流接触器 |

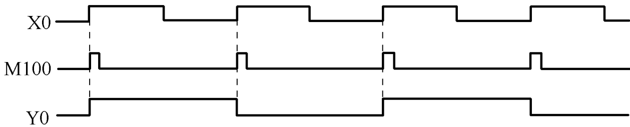
可以通过以下几种方式来实现：

1. 用分频电路实现

图3-54所示是用二分频电路实现的程序，将要分频的脉冲信号加入到X0端，Y0端输出分频后的脉冲信号。




a) 梯形图　　　　b) 指令表




c) 时序图

图3-54　单按钮起停控制程序一

1）程序开始执行时，M8002接通一个扫描周期，确保Y0的初始状态为断开状态。

2）X0端第一个脉冲信号到来时，M100接通一个扫描周期，所以M100 ┤├ 接通，而



Y000 ─|/|─ 是闭合状态，因此 Y0 线圈接通，并通过 M100 ─|/|─── Y000 ─| |─ 一直保持接通状态，直到 X0 端来第二个脉冲。

3）当 X0 端第二个脉冲到来时，M100 又接通一个扫描周期。在第一个扫描周期 Y000 ─|/|─ 断开，M100 ─|/|─ 断开，所以能使 Y0 线圈断开，并一直保持断开状态，直到 X0 端来第三个脉冲。这样输出 Y0 的频率为输入 X0 频率的一半，实现了分频，时序图如图 3-54c 所示。

2. 用计数器实现

图 3-55 中，实现了用一只按钮完成单数次计数起动，双数次计数停止的控制。

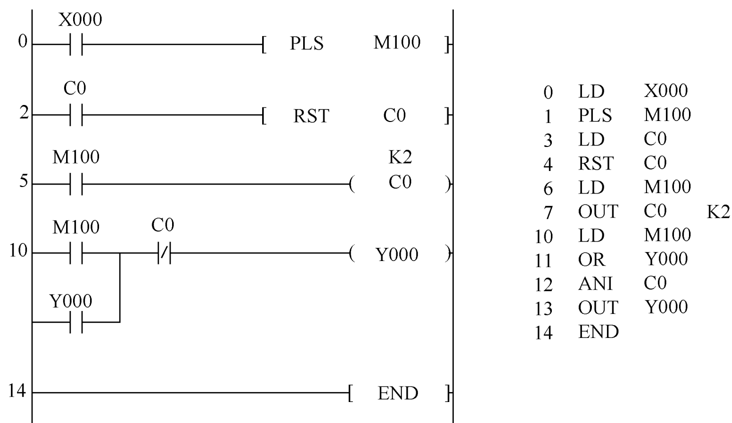



图 3-55　单按钮起停控制程序二

3. 其他方法

另外单按钮起停也可以通过图 3-56 和图 3-57 的梯形图来实现。

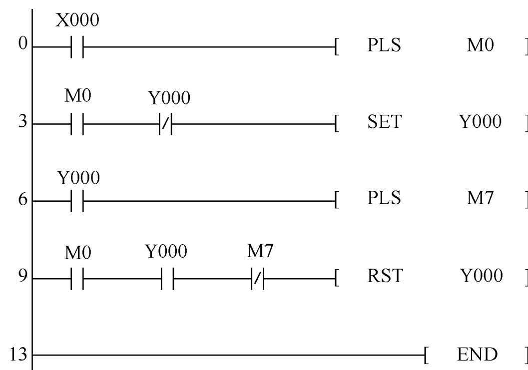



图 3-56　单按钮起停控制程序三

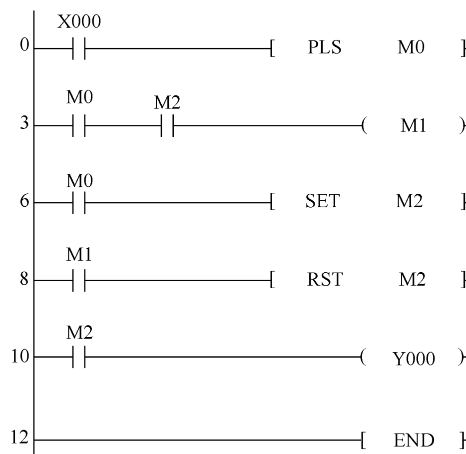



图 3-57 单按钮起停控制程序四

安装与调试：

完成 PLC 接线，并将录入的程序传送到 PLC，并进行调试，检查是否完成了控制要求，按下与 X0 相连接的按钮，按第一次，电动机起动；按第二次，电动机停止工作，直至运行情况完全符合任务要求方为成功。

# 第 四 章

# FX 系列 PLC 的步进顺序控制

## 第一节　顺序控制与功能图

### 一、顺序控制概述

顺序控制是一种先进的设计方法，容易被初学者接受，也可极大地提高设计效率，并且程序的修改、调试和阅读都很方便。那么，什么是顺序控制呢?

顺序控制就是按照生产工艺预先设定的顺序，在各个输入信号的作用下，根据内部状态和时间的顺序，生产过程的各个执行机构自动有序地进行操作。

在顺序控制中，生产过程是按顺序、有步骤地进行连续工作的，因此可以将一个较复杂的生产过程分解成若干步骤，每一步对应生产过程中的一个控制任务，也称为一个工步(或一个状态)。在顺序控制的每个工步中，都应含有完成相应控制任务的输出执行机构和转移到下一个工步的转移条件。

使用顺序控制编程的优点如下：

1）在程序中可以直观地看到设备的动作顺序。顺序控制程序（SFC 程序）是按照设备（或工艺）的动作顺序而编写的，所以程序的规律性较强，容易读懂，具有一定的可视性。

2）在设备发生故障时能很容易地找出故障所在位置。

3）不需要复杂的互锁电路，更容易设计和维护系统。

### 二、顺序功能图的基本结构

我们以“运料小车”控制为例来认识一下顺序控制的基本结构，图 4-1 所示为运料小车示意图。

其控制要求如下：小车开始停在左侧限位开关 SQ2 处，按下起动按钮 SB1，开始装料，装料时间为 20s，装料结束后小车右行，碰到右侧限位开关 SQ1，开始卸料，经过 10s 后，小车自动左行，碰到左侧限位开关后，停止运行。

图 4-2 所示为运料小车控制的顺序功能图，它由步、有向线段、转换及转换条件和动作（或命令）四个部分组成。

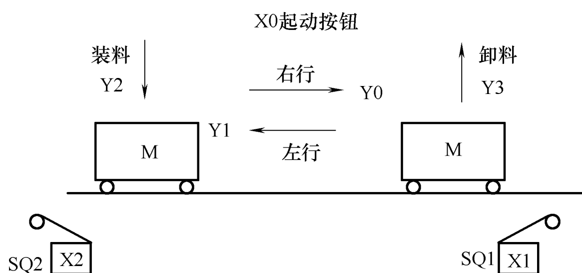



图 4-1　运料小车运行示意图

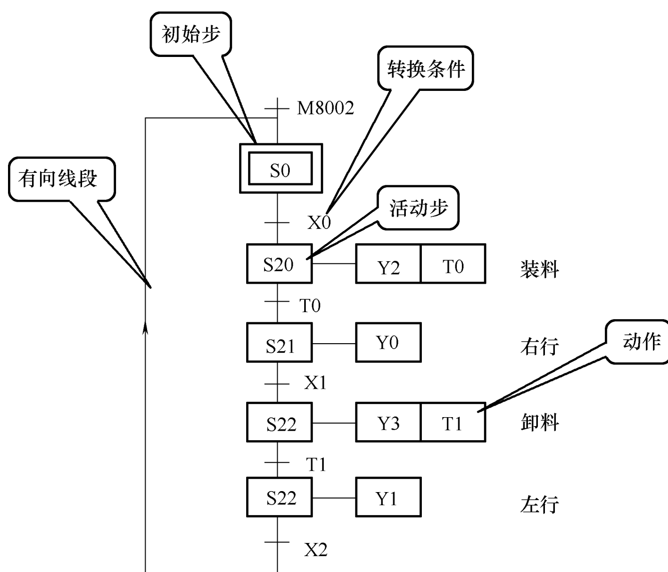



图 4-2　运料小车控制的顺序功能图

1. 步

顺序控制的思想就是把一个控制系统的工作周期分为几个顺序相连的工序，这些工序就称为“步”，步可以用编程软元件 M 或 S 来表示，我们在后面学习步进顺序控制，用状态元件 S 来表示。

“步”是控制系统中的一个相对稳定的状态，步的划分原则是，根据输出量的状态变化来划分，也就是说在任何一步内，各个输出量的 ON/OFF 状态不变，但相邻步的输出量的状态是不同的。顺序功能图中的“步”分为初始步和活动步。

（1）初始步

与系统的初始状态相对应的步称为初始步。初始状态是系统运行的起点，初始步用双线框表示，如 S0 ，每一个顺序功能图至少有一个初始步。

（2）活动步

当系统正处于某一步所在的阶段时，该步就处于活动状态，我们把该步称为“活动步”，用矩形框表示，如 S20 。步处于活动状态时，后面的动作将被执行；步处于不活动状态时，后面的动作将被停止（存储型动作除外）。

2. 有向线段

步与步之间的有向线段用来表示步的活动状态和进展方向。从上到下和从左到右这两个方向上的箭头可以省略，其他方向上必须加上箭头用来注明步的进展方向。

3. 转换及转换条件

转换是垂直于有向线段的短划线，其作用是将相邻的两步分开。转换旁边要注明转换条件，它是与转换有关的逻辑命题，转换条件可以用文字语言、布尔代数表达式或图形符号进行标注。转换条件可以为一个，也可为多个的逻辑组合。

4. 动作（或命令）

一个步表示控制过程中的稳定状态，它可以对应一个或多个动作。可以在步的右边加一个矩形框，在框中用简明的文字说明该步对应的动作。一个步可以有一个或多个动作。

**【名师点拨】 初学顺序控制应注意的几个问题**

问题1：绘制顺序功能图应该注意什么？

绘制顺序功能图应注意以下四点：

1）两个步之间必须用转换隔开，两个步绝对不可以直接相连。

2）两个转换必须用一个步隔开，两个转换也不能相连。

3）系统必须有等待系统启动的初始状态。

4）在顺序功能图中，只有当某一步的前级步是活动的，转换条件又满足时，这一步才能变为活动步，同时其前级步自动变为不活动步。

例如，在图4-2中，当 S20 为活动步时，而且此时T0的定时时间到，所以步可以由 S20 转移到 S21 。于是 S21 变为活动步，而 S20 就变为不活动步。

问题2：用顺序控制设计法编程的主要步骤是什么？

用顺序控制设计法编程大致可以分为以下三个步骤：

1）详细分析系统的工艺过程，将整个控制过程分为几个工步，确定每个工步的动作及转移到下一个工步的条件等，为画顺序功能图理清思路。

2）画出顺序功能图（SFC）。

3）根据顺序功能图画出控制梯形图。

# 第二节　步进指令与步进梯形图

## 一、步进指令与状态元件

在顺序控制中，“步”可以用 M 或 S 来表示，当“步”用状态继电器 S 表示时，需要配合步进指令来使用。

FX2N 系列 PLC 的步进指令有两条：STL（步进触点指令）和 RET（步进返回指令）。

STL 为步进触点指令，其功能是将步进触点接到左母线。

STL 指令的操作元件是状态继电器 S，记作—||—（S20）。步进触点只有常开触点，没有常闭触点。当步进触点接通时，将左母线移到新的临时位置，即移到步进触点右边，产生一个临时的左母线。这样，与步进触点相连的逻辑行就可以执行，可以采用基本指令写出其指令表。

RET 是步进返回指令，其功能是用来复位 STL 指令的，使临时左母线返回到原先左母线的位置。RET 指令没有操作元件。

注意：STL 和 RET 指令只有与状态继电器 S 配合使用才能具有步进功能。

状态继电器（S）共分为五类，主要功能如下：

1）初始状态继电器 S0 ~ S9 共 10 点。

2）回零状态继电器 S10 ~ S19 共 10 点。

3）通用状态继电器 S20 ~ S499 共 480 点。

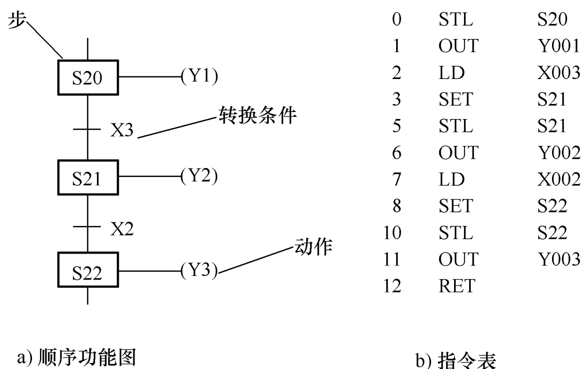
4）具有断电保持功能的状态继电器 S500 ~ S899 共 400 点。

5）供报警用的状态继电器 S900 ~ S999 共 100 点。

在步进顺序控制里，我们使用前四种状态继电器来表示顺序控制里的各个步。

## 二、步进指令的梯形图编程方法

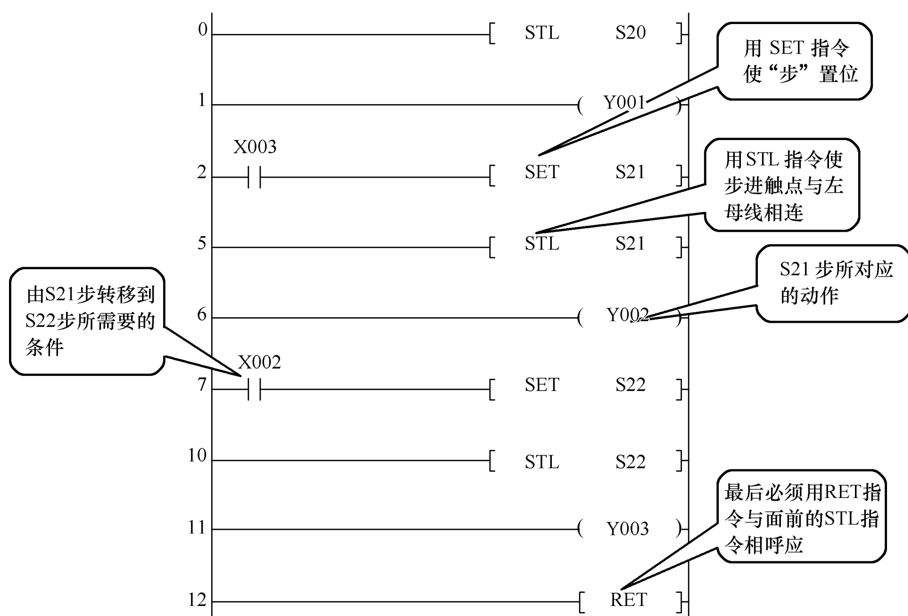
在实现控制要求时，需要把顺序功能图转化为梯形图，在进行梯形图转换时，要注意 STL、RET 指令的特殊用法。STL、RET 指令的应用如图 4-3 所示。




| | | |
|---|---|---|
| 0 | STL | S20 |
| 1 | OUT | Y001 |
| 2 | LD | X003 |
| 3 | SET | S21 |
| 5 | STL | S21 |
| 6 | OUT | Y002 |
| 7 | LD | X002 |
| 8 | SET | S22 |
| 10 | STL | S22 |
| 11 | OUT | Y003 |
| 12 | RET | |

b) 指令表

图 4-3　STL、RET 指令的应用




c) 梯形图

图 4-3 STL、RET 指令的应用（续）

**【名师点拨】 步进指令使用时的注意事项**

步进指令在使用时应注意以下问题：

1）STL 指令的状态继电器 S 的常开触点称为 STL 触点，是“胖”触点。步进触点只有常开触点，而没有常闭触点，用─┤├─表示，与左母线相连。

2）状态继电器使用时可以按编号顺序使用，也可以任意选择使用，但是不允许重复使用。

3）与 STL 触点相连的触点应用 LD 或 LDI 指令，只有执行完 RET 后才返回到最初的左母线。

4）只有步进触点闭合时，它后面的电路才能动作。如果步进触点断开，则其后面的电路将全部断开。但是在 1 个扫描周期以后，不再执行指令。

5）STL 触点可直接驱动或通过别的触点驱动 Y、M、S、T、C 等元件的线圈。当前状态可由单个触点作为转移条件，也可由多个触点的组合作为转移条件。

6）由于 PLC 只执行活动步对应的电路块，所以使用 STL 指令时允许双线圈输出（步进顺序控制在不同的步可多次驱动同一线圈）。

7）STL 触点驱动的电路块中不能使用 MC 和 MCR 指令，但可以用 CJ 指令。

8）在中断程序和子程序里，不能使用 STL 指令。

# 第三节　单序列步进顺序控制

使用步进指令编程时，一般需要下面几个具体的步骤：

1）分析系统工艺要求，画出I/O分配表。

2）根据控制要求或加工工艺要求，画出顺序功能图。

3）根据顺序功能图，画出相应的梯形图。

4）输入程序，根据控制要求进行调试。

从图4-2所示的运料小车控制的顺序功能图中，我们可以看到，程序的运行方向为从上到下，没有分支，运行到最后一步，再返回到初始状态。这种没有任何分支的顺序控制结构称为单序列结构。所以图4-2也是单序列步进顺序控制结构图。

**【名师点拨一】　液料混合控制系统**

在化工行业中，经常会涉及多种液体的混合问题。图4-4所示为液料混合装置。上、中、下限位传感器在其各自被液体淹没时为ON，否则为OFF。电磁阀YV1、YV2、YV3，当其线圈通电时打开，线圈断电时关闭。开始容器是空的，电磁阀均处于关闭状态，传感器为OFF状态。

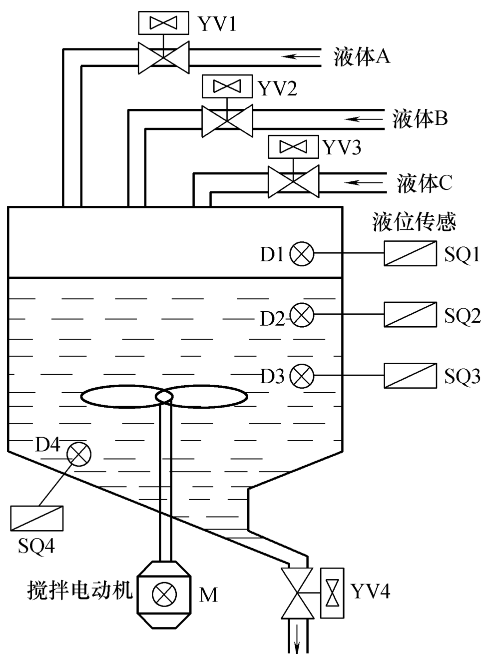



图4-4　液料混合装置示意图

按下起动按钮，打开阀YV1，液体A流入容器中，限位开关SQ3变为ON时，关闭阀YV1，打开阀YV2，液体B流入容器，当液位到达限位开关SQ2时，关闭阀YV2，打开阀YV3，液体C流入容器，当液位到达限位开关SQ1时，关闭阀YV3，搅拌电动机开始运行，搅动液体60s后停止搅拌，打开阀YV4，放出混合液，当液面降至限位开关SQ4后再过5s，关闭阀YV4，系统回到初始状态。

**1. 分析系统工艺要求，画出I/O分配表**

根据控制要求，液料混合的过程控制属于单序列顺序控制，我们可以将整个过程分为以下几个步骤：

初始状态→液体A流入→液体B流入→液体C流入→搅动液体→放出混合液体→计时5s→停止在初始状态。

I/O分配如表4-1所示。



**表 4-1 I/O 分配表**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 高限位开关 | SQ1 | X1 | Y1 | YV1 | 液料 A 电磁阀 |
| 中限位开关 | SQ2 | X2 | Y2 | YV2 | 液料 B 电磁阀 |
| 低限位开关 | SQ3 | X3 | Y3 | YV3 | 液料 C 电磁阀 |
| 下限位开关 | SQ4 | X4 | Y4 | YV4 | 放料阀 |
| 起动按钮 | SB1 | X5 | Y5 | KM1 | 搅拌电动机 M |
| 停止按钮 | SB2 | X6 | | | |

2. 画出顺序功能图

液料混合控制的单序列顺序功能图如图 4-5 所示。

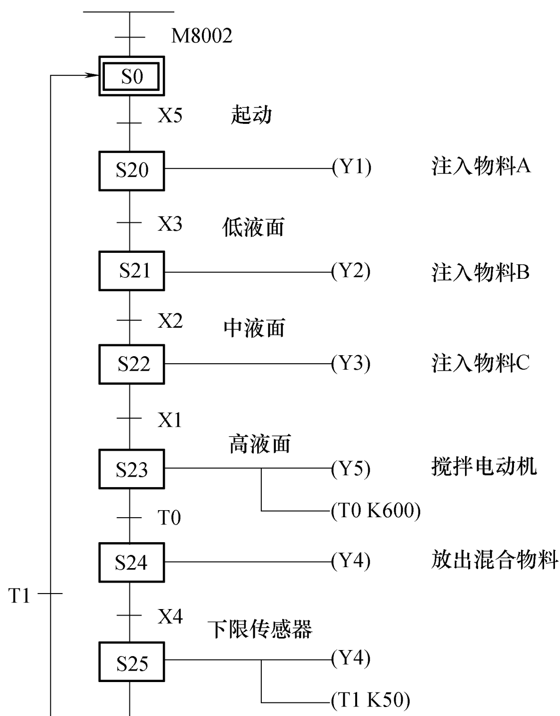



图 4-5　液料混合控制单序列顺序功能图

3. 根据顺序功能图，画出相应的梯形图

液料混合控制的梯形图如图 4-6 所示。

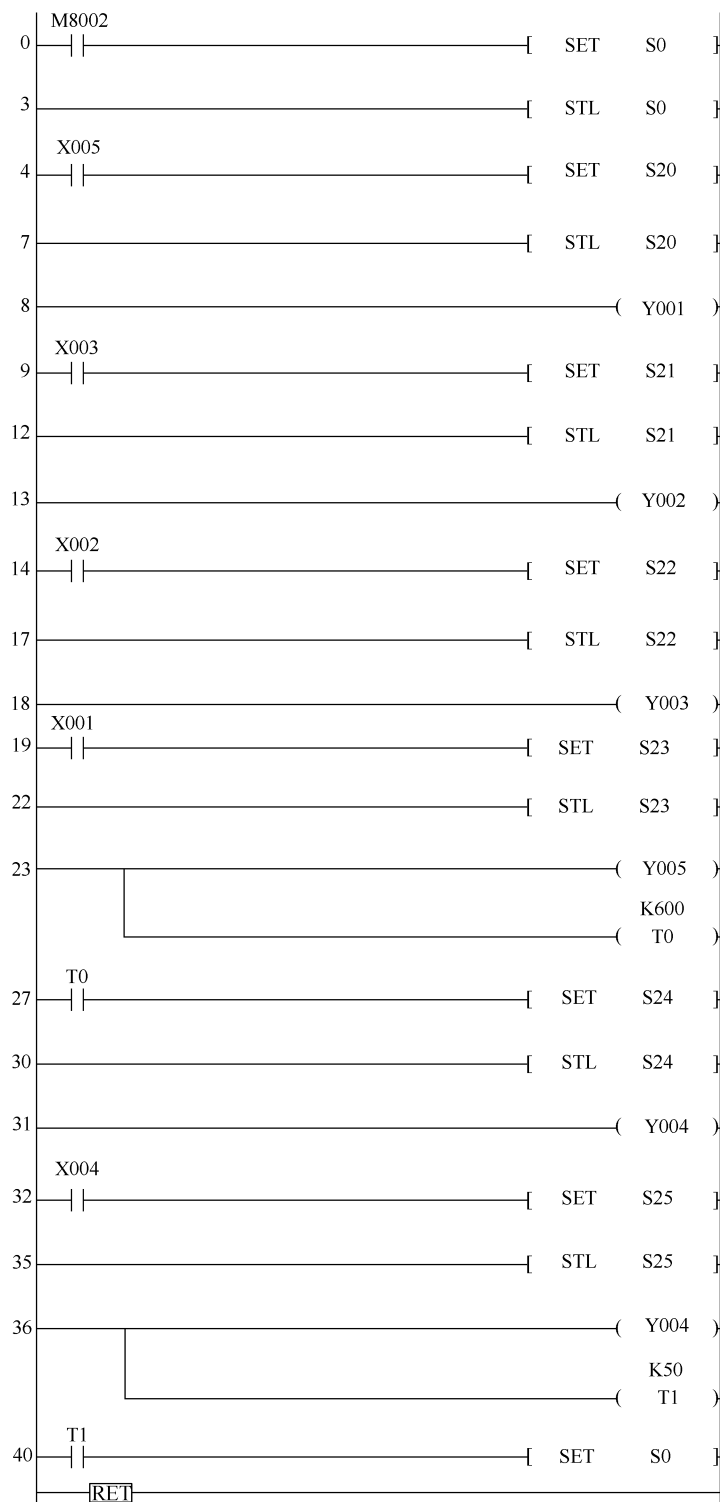



图 4-6　液料混合控制的梯形图



4. 输入程序，进行调试

将程序输入 PLC，然后进行程序调试。调试过程中要注意各动作的顺序，每次操作都要注意监控观察各输出和相关的定时器（T1 和 T2 的变化），检查是否实现了液料混合系统所要求的液体混合、搅拌和放出功能。

【名师点拨二】 单序列拓展——多周期及加入停止的操作

对于液料混合控制，如果再附加以下控制要求：

1）一个周期结束后，又打开阀 YV1，又开始下一个周期的操作。

2）按下停止按钮，在当前工作周期的操作结束后，才停止操作，系统停在初始状态。

又该如何处理呢？

1. 画出顺序功能图

根据控制要求，整个控制过程分为以下步骤：

初始状态→液体 A 流入→液体 B 流入→液体 C 流入→搅动液体→放出混合液体→计时 5s ⟶ {没按过停止，系统继续循环。按过停止，系统回到初始状态。}

根据控制要求画出顺序功能图如图 4-7 所示。

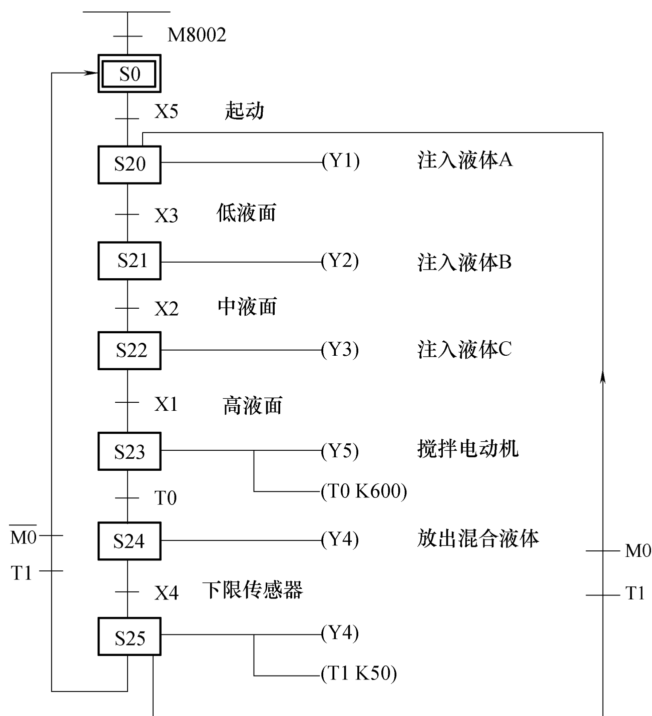



图 4-7 液料混合控制加入停止操作的顺序功能图

2. 画出相应的梯形图

根据顺序功能图画出相应的梯形图如图4-8所示。

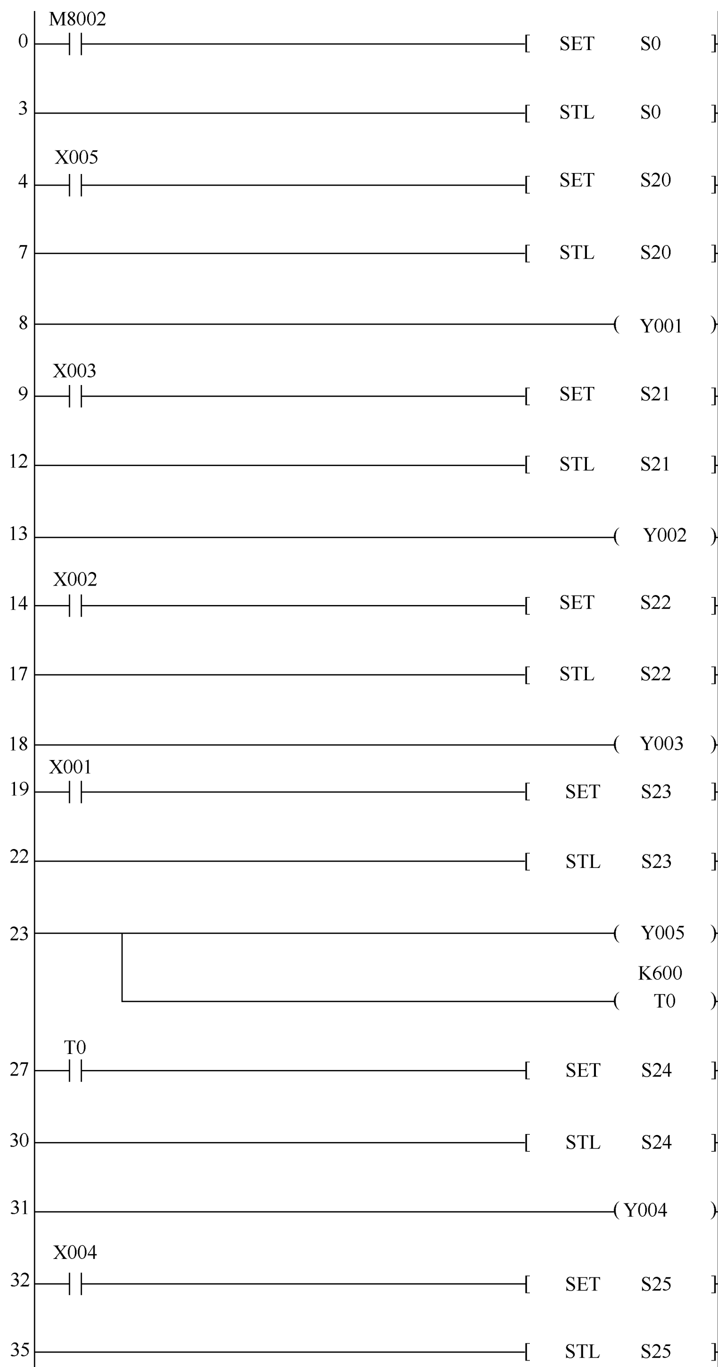



图4-8 液料混合加入停止控制的梯形图



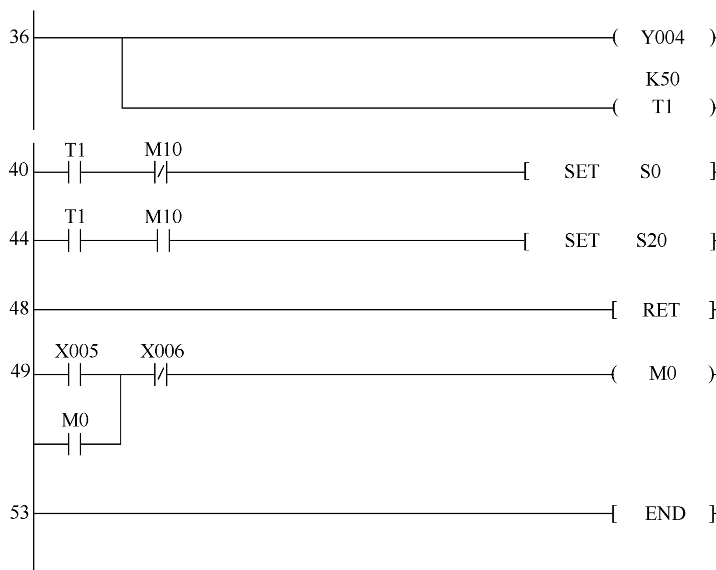



图 4-8 液料混合加入停止控制的梯形图（续）

程序说明：

在顺序功能图4-7中，出现了$\overline{M0}$ T2和M0 T2两个不同的转移条件，其中$\overline{M0}$ T2条件下实现的是回到初始状态，而M0 T2条件下是继续开始一个新的周期。那么M0起什么作用呢？有关M0的梯形图如图4-9所示。

从图4-9中我们可以看到：按下起动按钮后，M0处于得电状态，M0闭合使M0线圈保持得电；在停止按钮没按前，M0线圈一直得电，所以转移条件M0 T2会满足，因此在顺序功能图中，在执行完最后一步S25后，会转移到S20步，开始一个新的循环。

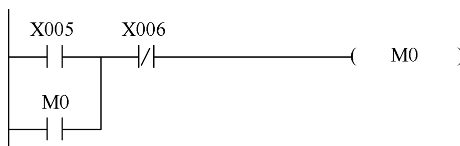



图 4-9 加入停止的控制中“M0”的梯形图

如果按下了停止按钮，M0线圈失电，所以转移条件$\overline{M0}$ T2会满足，因此在顺序功能图中，在执行完最后一步S25后，会转移到初始状态S0。

程序调试说明：

首先按照单序列控制调试程序；再看程序是否能进行循环操作；以上调试好之后，再在调试过程中的任何时刻按下停止按钮，观察停止功能，是否在当前工作周期结束后才能响应停止操作并返回初始状态。

## 第四节　选择序列步进顺序控制

选择序列的结构如图 4-10 所示，在 S20 和 X0 条件满足的情况下，X1 的动作与否决定了程序的转移方向，如果$\overline{X1}$条件满足，程序转向 S21 执行；如果 X1 条件满足，则程序转向 S31 执行，这样的序列称为选择序列。

在循环计数的程序里常需要用到选择序列。

图 4-10 所示的选择序列结构的梯形图如图 4-11 所示。

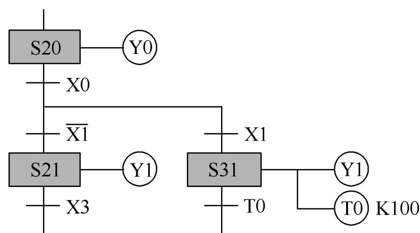



图 4-10　选择序列的结构

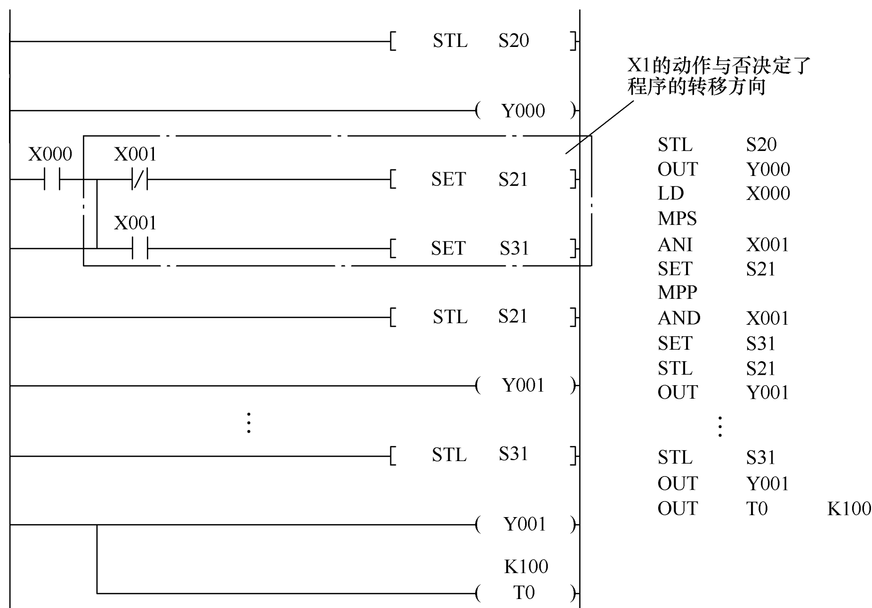



图 4-11　选择序列的梯形图和指令表

**【名师点拨】 简易洗车控制系统**

简易洗车控制系统的控制要求如下：

1）若方式选择开关 SA 置于 OFF 状态，当按下起动按钮 SB1 后，则按下列程序动作：

① 执行泡沫清洗。

② 按 SB3 则执行清水冲洗。

③ 按 SB4 则执行风干。

④ 按 SB5 则结束洗车。

2）若方式选择开关 SA 置于 ON 状态，当按起动按钮 SB1 后，则自动按洗车流程执行。其中泡沫清洗 10s、清水冲洗 20s、风干 5s，结束后回到待洗状态。

3）任何时候按下 SB2，所有输出都会复位，停止洗车。

1. 列出 I/O 分配表

根据任务要求分配 I/O，如表 4-2 所示。

**表 4-2 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X0 | Y0 | KM1 | 清水清洗驱动 |
| 方式选择开关 | SA | X1 | Y1 | KM2 | 泡沫清洗驱动 |
| 停止按钮 | SB2 | X2 | Y2 | KM3 | 风干机驱动 |
| 清水冲洗按钮 | SB3 | X3 | | | |
| 风干按钮 | SB4 | X4 | | | |
| 结束按钮 | SB5 | X5 | | | |

2. 画出 PLC 接线图

PLC 的外部接线图，如图 4-12 所示。

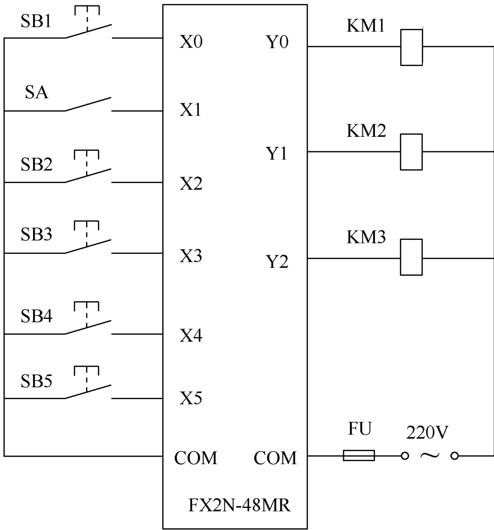



图 4-12 简易洗车系统控制 PLC 外部接线图

3. 根据控制要求，设计顺序功能图

控制系统分为两种功能，手动、自动只能选择其一，因此需要使用选择分支来实现，而每种功能有三种控制功能按钮或设定时间而顺序执行的状态：泡沫清洗→清水冲洗→风干。

根据转换规律和转换条件，绘制顺序功能图，如图4-13所示。

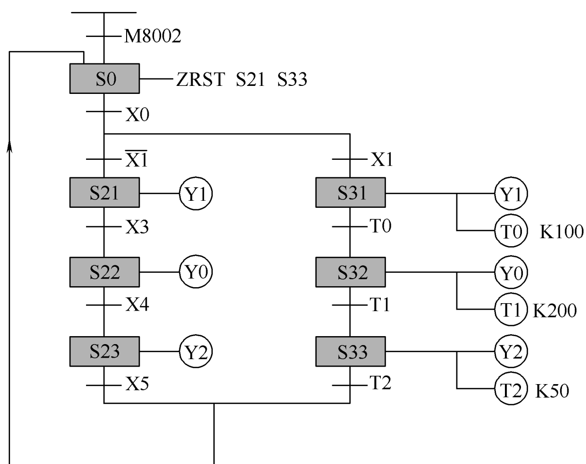



图4-13 简易洗车控制系统的顺序功能图

4. 梯形图

根据设计出的顺序功能图转换为梯形图，如图4-14所示。

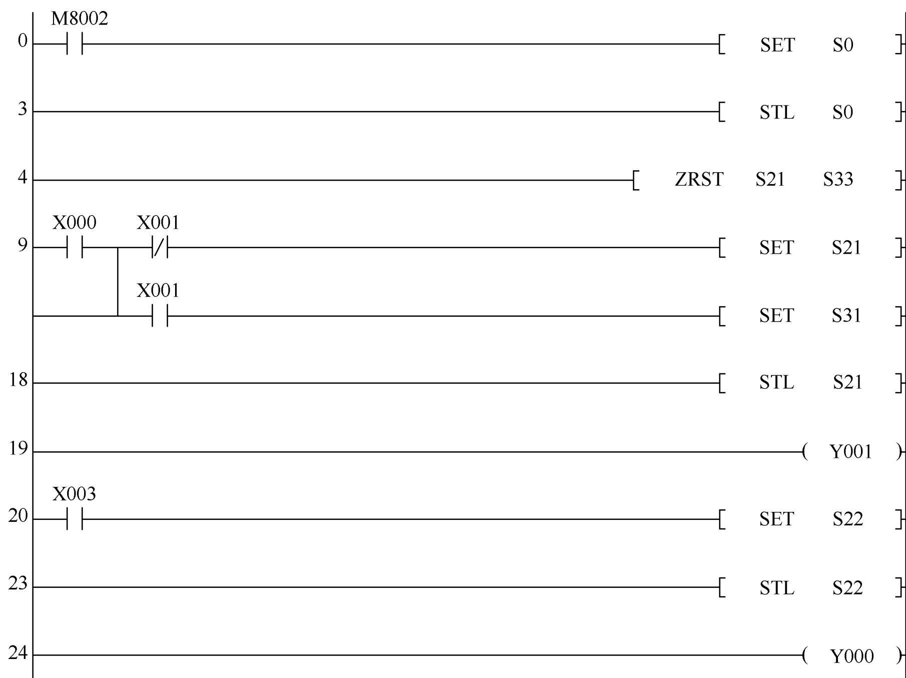



图4-14 简易洗车控制系统的梯形图



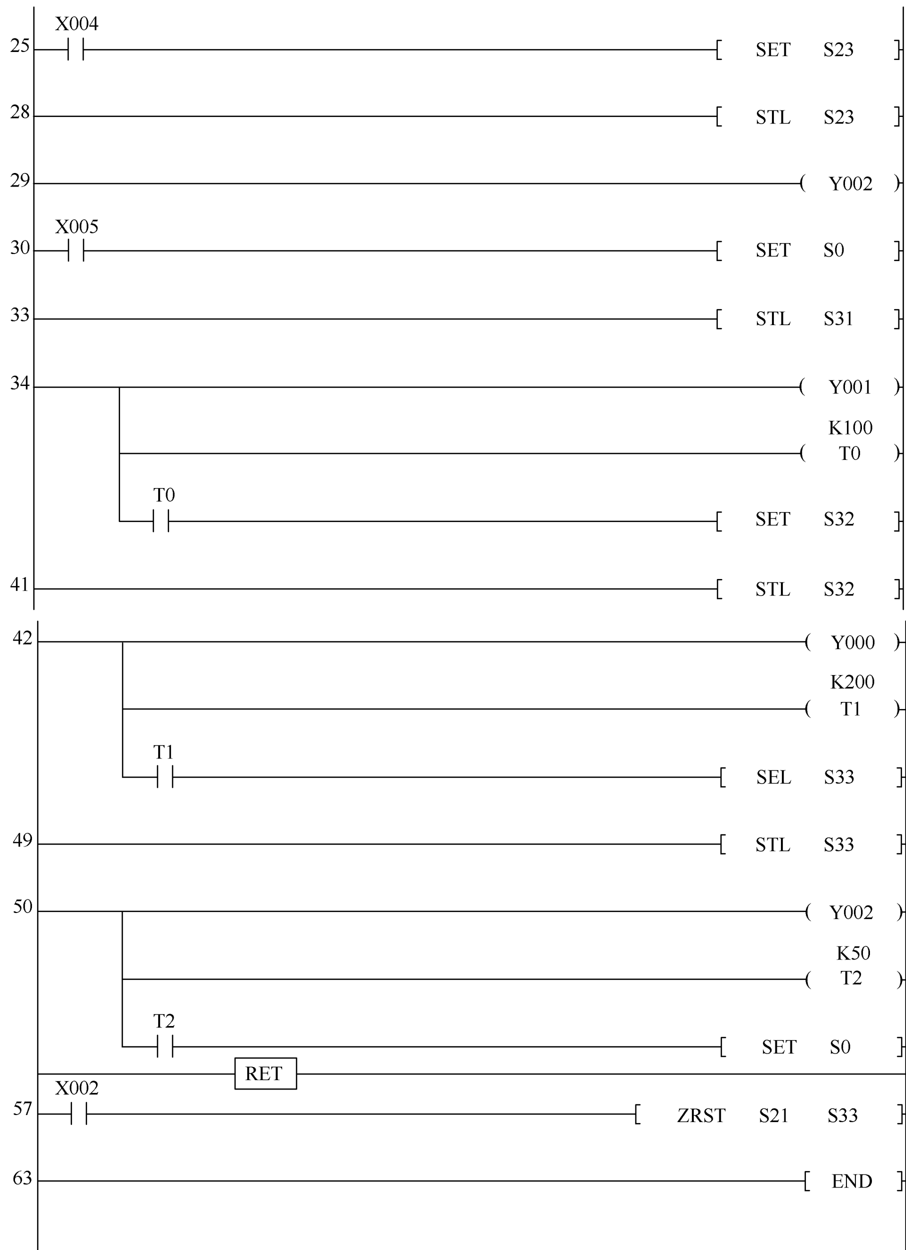



图 4-14 简易洗车控制系统的梯形图（续）

# 第五节 并行序列步进顺序控制

图 4-15 所示为并行序列的结构。在图 4-15a 中，用双线表示并行序列的分支，如果

3 为活动步，且转换条件 c 成立，则双线下面的 4、6、8 三步同时变为活动步，这三步同时被激活，而每一个序列接下来的转换都是独立的。

在图 4-15b 中，用双线表示并行序列的合并，转换条件放在双线之下。当双线上的所有前级步 5、7、9 都为活动步，且步 5、7、9 的顺序动作全部执行完成后，转换条件 d 成立，才能使转换实现，步 10 变为活动步，而步 5、7、9 同时变为不活动步。

图 4-16 所示为一并行序列的顺序功能图，其对应的梯形图和指令表如图 4-17 所示。

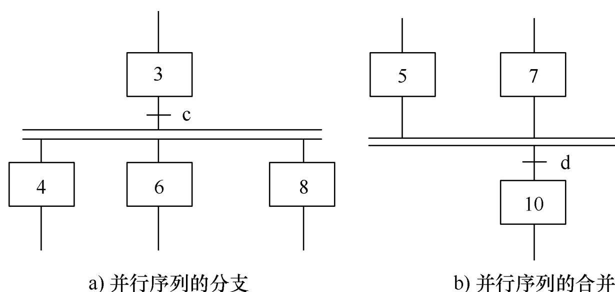



图 4-15　并行序列的结构

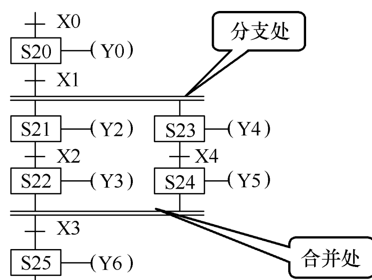



图 4-16　并行序列的顺序功能图

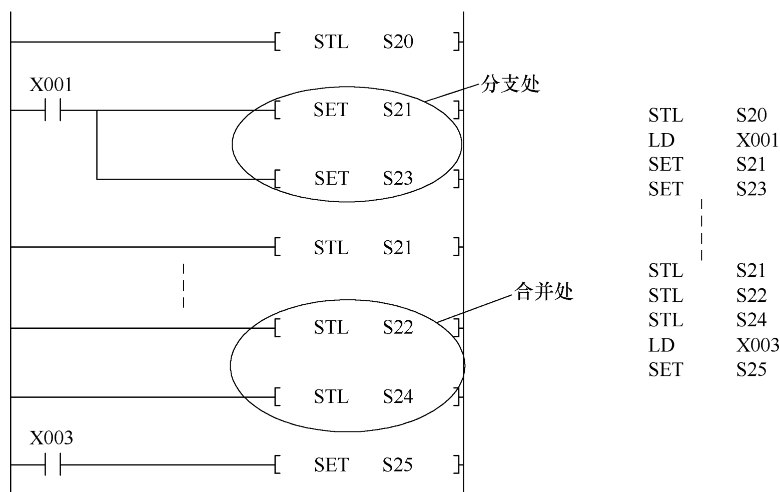



图 4-17　并行序列的梯形图与指令表

用步进指令书写并行序列结构的梯形图时要注意：

分支处：当 S20 是活动步，X1 条件又满足时，同时转向 S21 和 S23 两步。

在合并处：只有当 S22 和 S24 两步同时为活动步，并且 X3 条件又满足时，程序将转向 S25 步执行。

【名师点拨一】 组合钻床控制系统

某组合钻床可用来加工圆盘状零件上分布的6个孔。操作人员先放好工件，按下起动按钮工件被夹紧，夹紧压力继电器X1为ON，Y2和Y4使两只钻头同时开始向下进给。大钻头钻到限位开关X2所设定的深度后，Y3使它上升，到限位开关X3时停止上行。小钻头同时钻，到限位开关X4设定的深度时，Y5使它上升，升到由限位开关X5设定的起始位置时停止上行，同时设定值为3的计数器的当前值加1，表明一对孔加工完毕。两个都到位后，Y6使工件旋转120°，旋转到位后开始钻第二对孔。3对孔都钻完后，Y7使工件松开，松开到位后，系统回到初始状态。

1. 分析系统工艺要求，画出I/O分配表

根据控制要求，大钻和小钻同时工作，所以属于并行序列；在判断是否钻完三对孔时，需要用到选择序列，所以这是一个并行序列与选择序列的组合。根据控制要求，画出I/O分配表如表4-3所示。

表4-3 I/O分配表

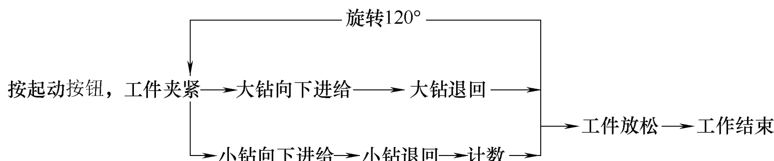
| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X0 | Y1 | KM1 | 工件夹紧 |
| 夹紧压力继电器 | SQ1 | X1 | Y2 | KM2 | 大钻头向下进给 |
| 大钻下限位开关 | SQ2 | X2 | Y3 | KM3 | 大钻头退回 |
| 大钻上限位开关 | SQ3 | X3 | Y4 | KM4 | 小钻头向下进给 |
| 小钻下限位开关 | SQ4 | X4 | Y5 | KM5 | 小钻头退回 |
| 小钻上限位开关 | SQ5 | X5 | Y6 | KM6 | 工件旋转 |
| 工件旋转限位开关 | SQ6 | X6 | Y7 | KM7 | 工件放松 |
| 松开到位限位开关 | SQ7 | X7 | | | |

2. 画出PLC的接线图

PLC的外部接线图，如图4-18所示。

3. 根据控制要求或加工工艺要求，画出顺序功能图

整个控制过程的工序大致为




组合钻床控制顺序功能图如图4-19所示。

4. 根据顺序功能图，画出相应的梯形图（见图4-20）

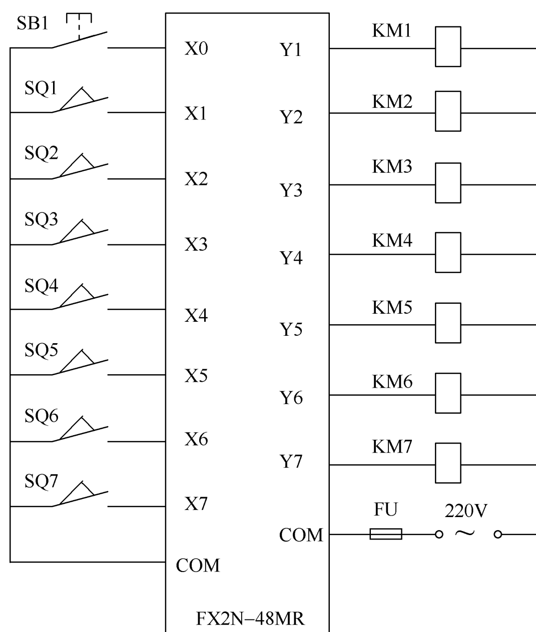



图 4-18　组合钻床控制 PLC 接线图

**5. 输入程序，进行调试**

调试时，要注意各动作的顺序，观察计数器 C0 的数值变化，并在监控状态下，观察各个步之间的转换情况。

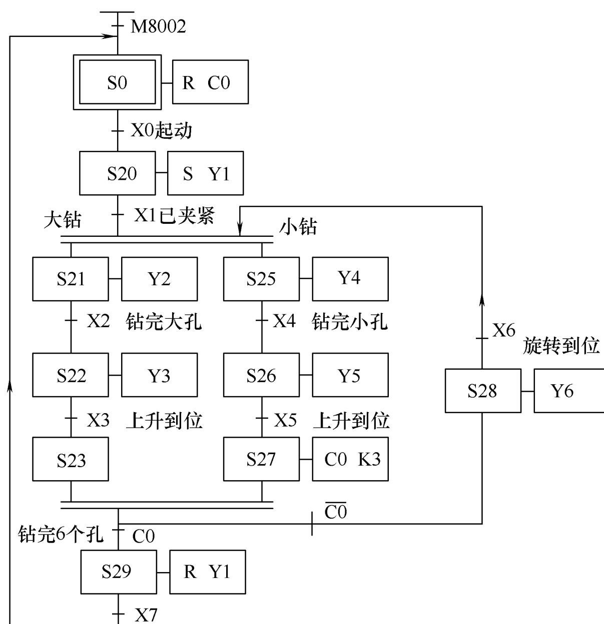



图 4-19　组合钻床控制顺序功能图



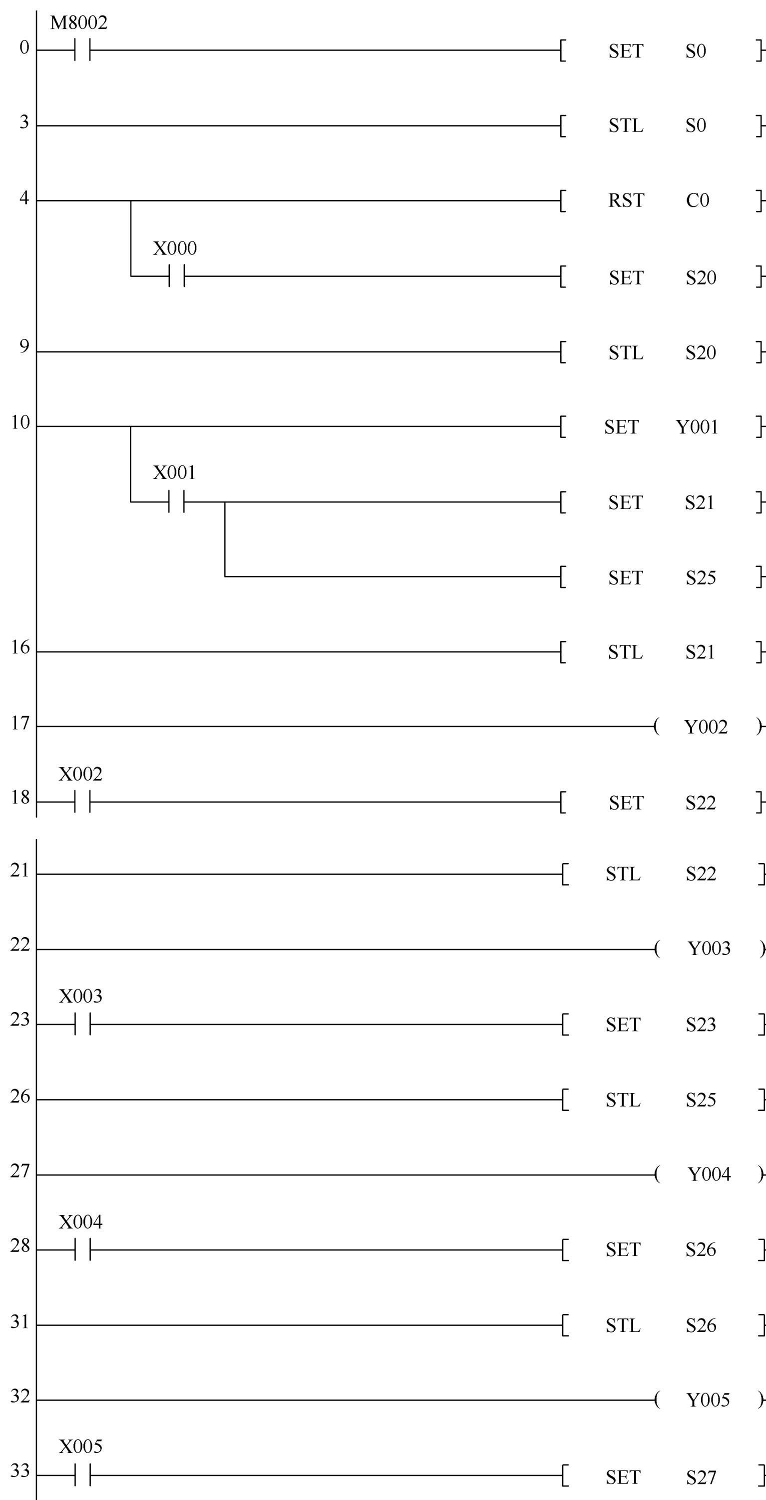



图 4-20　组合钻床控制梯形图

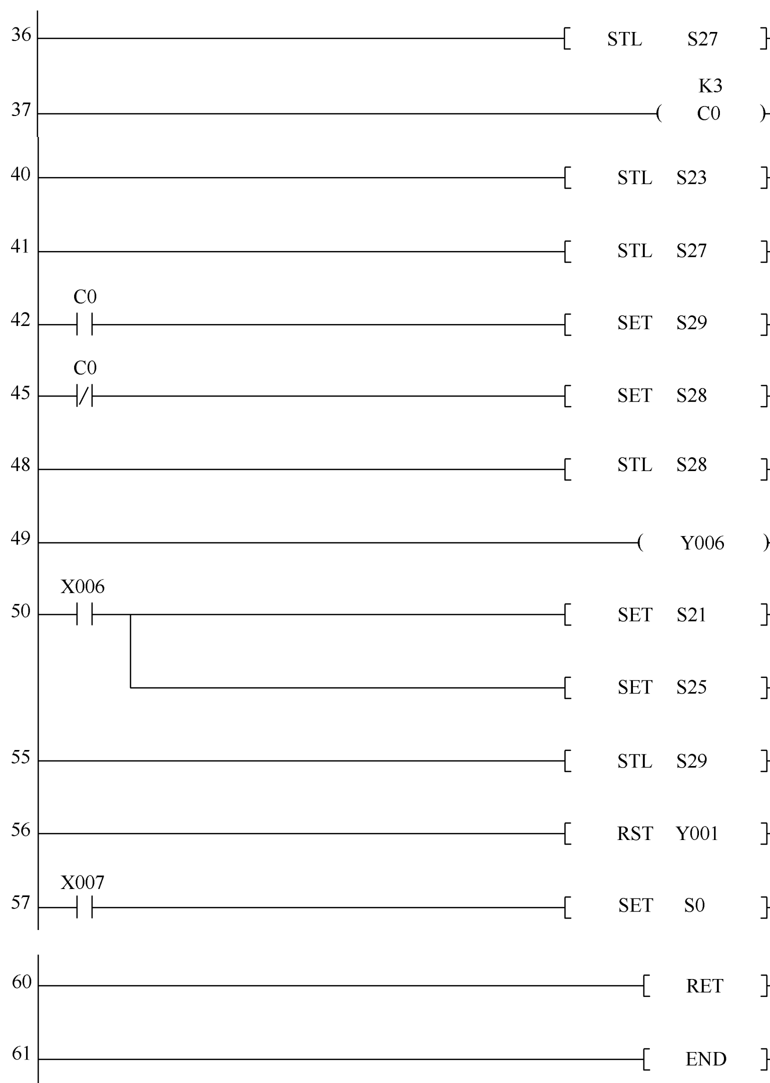



图 4-20　组合钻床控制梯形图（续）

**【名师点拨二】　步进顺序控制综合应用——多种工作方式**

1. 多种工作方式的含义

在实际生产中，许多工业设备设置都有多种工作方式，如手动工作方式和自动工作方式，而自动工作方式又可分为单周期、连续、单步和回原点工作方式。

**单周期工作方式：**按下起动按钮后，从初始步开始，按规定完成一个周期的工作后，返回并停留在初始步。

**连续工作方式**：在初始状态下按下起动按钮后，从初始步开始一个周期一个周期地反复连续工作。按下停止按钮后，并不马上停止工作，直到完成最后一个周期的工作后，系统才返回并停留在初始步。

**单步工作方式**：从初始步开始，按一次起动按钮，系统转换到下一步，完成该步的任务后，自动停止工作并停留在该步，再按一次起动按钮，才转换到下一步。单步工作方式常用于系统的调试。

**回原点工作方式**：在选择单周期、连续、单步（这些都属于自动工作方式）工作方式之前，系统应该处于原点状态。如果这一条件不满足，可以选择回原点工作方式。

2. IST 指令

如何能将多种工作方式的功能融合到一个程序里，是设计多种工作方式控制的难点。

FX2N 系列 PLC 专门提供了 IST——初始化指令，以实现将多种工作方式的功能融合到一个程序里。IST 指令的应用格式如图 4-21 所示。

X10：手动；X11：回原点；X12：单步运行；X13：单周期；X14：连续运行；X15：回原点起动；X16：自动操作的起动；X17：停止。

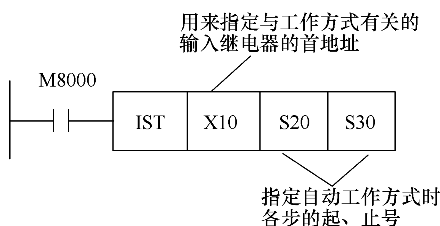


图 4-21　初始化指令的应用格式

以上输入点中，X10～X14 中同时只能有一个处于接通状态，所以必须使用选择开关，以保证这 5 个输入中不可能有两个同时为 ON 状态。

当 IST 指令的执行条件满足时，初始状态继电器 S0～S2 和下列特殊继电器被自动指定为以下功能：

S0：手动操作初始状态继电器；

S1：回原点初始状态继电器；

S2：自动操作初始状态继电器；

M8040：禁止转换。其线圈通电时，禁止所有的状态转换。手动工作方式时，M8040 一直为 ON 状态，即禁止在手动时步的活动状态的转换。

在回原点和单周期工作方式时，从按下停止按钮到按下起动按钮之间 M8040 起作用。如果在运行过程中按下停止按钮，M8040 变为 ON 并自保持，转换被禁止。在完成当前步的工作后，停在当前步。按下起动按钮后，M8040 变为 OFF，允许转换，系统才能转换到下一步，继续完成下面的工作程序。

在单步工作方式时，M8040 一直起作用，只是在按了起动按钮时才不起作用，允许转换。

在连续工作方式时，初始脉冲 M8002 一个扫描周期为 ON，M8040 变为 ON 并保持，禁止转换；按起动按钮后 M8040 变为 OFF，允许转换。

M8041：转换起动。它是自动程序中的初始步 S2 到下一步的转化条件之一。M8041 在单步和单周期工作方式时只有在按着起动按钮时起作用（无保持功能）。在

连续工作方式按起动按钮时 M8041 变为 ON 并自保持，按停止按钮后变为 OFF，保证系统的连续运行。

M8042：起动脉冲。在非手动工作方式按起动按钮和回原点按钮，它在一个扫描周期中为 ON。

M8043：回原点完成。在回原点方式，系统自动返回原点时，通过用户程序用 SET 指令将它置位。

M8044：原点条件。在系统满足初始条件时为 ON 状态。

M8047：STL 监控有效。其线圈通电时，当前的活动步对应的状态继电器的元件号按从大到小的顺序排列，存放在特殊数据寄存器 D8040 ~ D8047 中，由此可以监控 8 点活动步对应的状态继电器的元件号。此外，若有任何一个状态继电器为 ON，特殊辅助继电器 M8046 将为 ON。

3. 大小球分选控制系统

某机械手用来分选钢制大球和小球，如图 4-22 所示。输出继电器 Y4 为 ON 时钢球被电磁铁吸住，Y4 为 OFF 时被释放。图 4-23 所示为机械手的操作面板。机械手的 5 种工作方式由工作方式开关来选择，操作面板上有 6 个手动按钮。“紧急停车”按钮是为了保证在紧急情况下能可靠地切断 PLC 的负载电源而设置的。

机械手在最上面、最左面且电磁铁线圈断电时，称为系统处于原点状态（初始状态）。

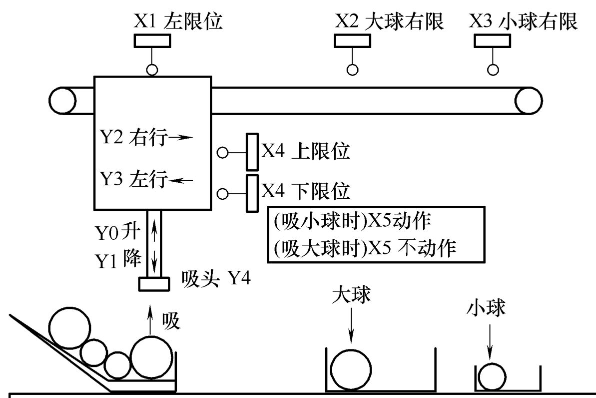



图 4-22　机械手分选大小球示意图

**（1）PLC 接线图**

根据控制要求，画出 PLC 接线图如图 4-24 所示。

**（2）顺序功能图**

多种工作方式梯形图的基本结构如图 4-25 所示，机械手分选大小球的顺序功能图如图 4-26 所示。

**（3）梯形图**（见图 4-27）



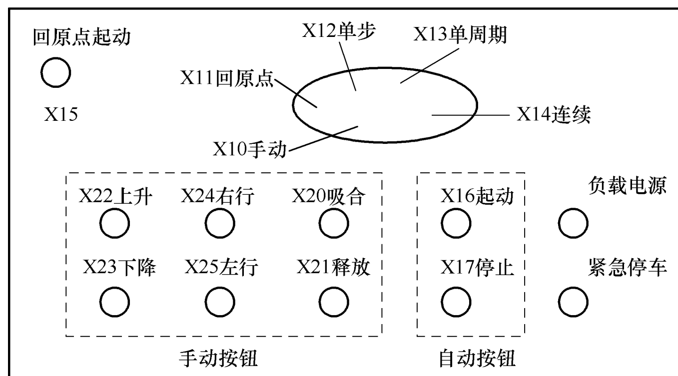



图 4-23　机械手分选大小球的控制面板

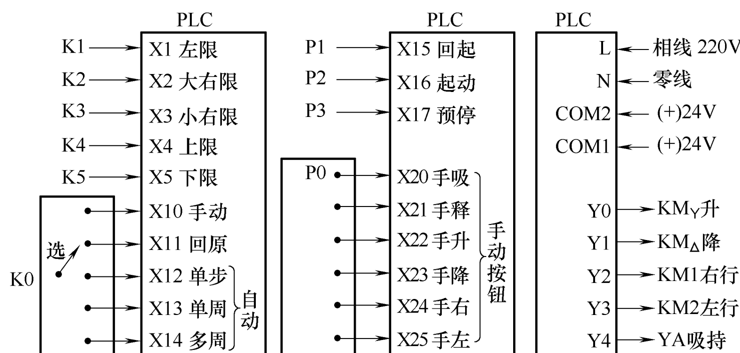



图 4-24　机械手分选大小球的 PLC 接线图

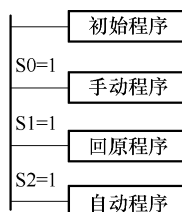



图 4-25　多种工作方式梯形图的基本结构

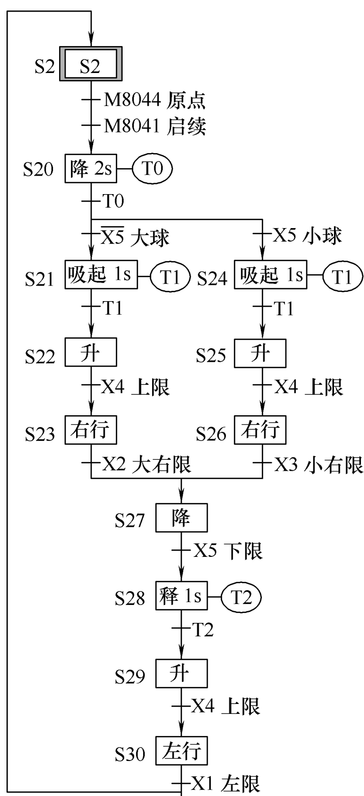



图 4-26　机械手分选大小球的顺序功能图

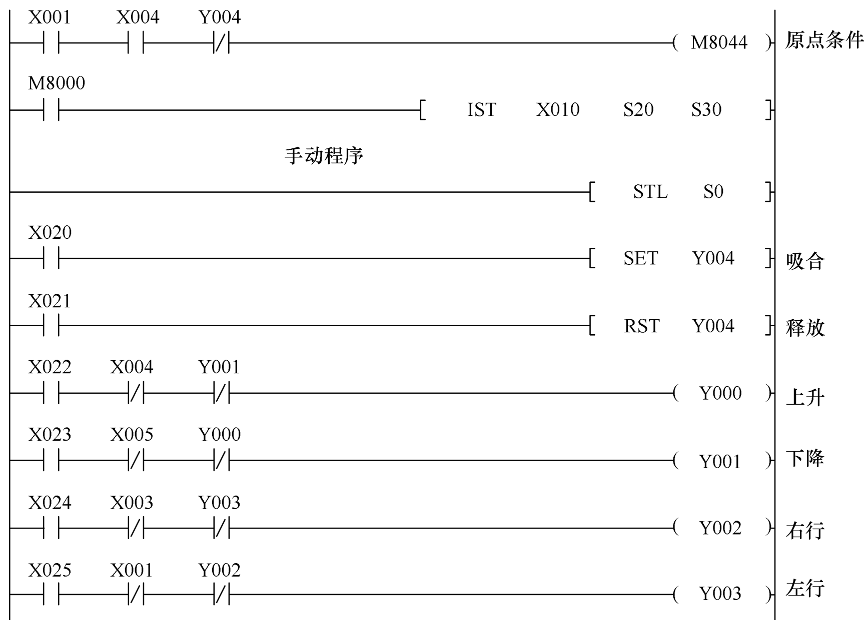



图 4-27　机械手分选大小球的梯形图



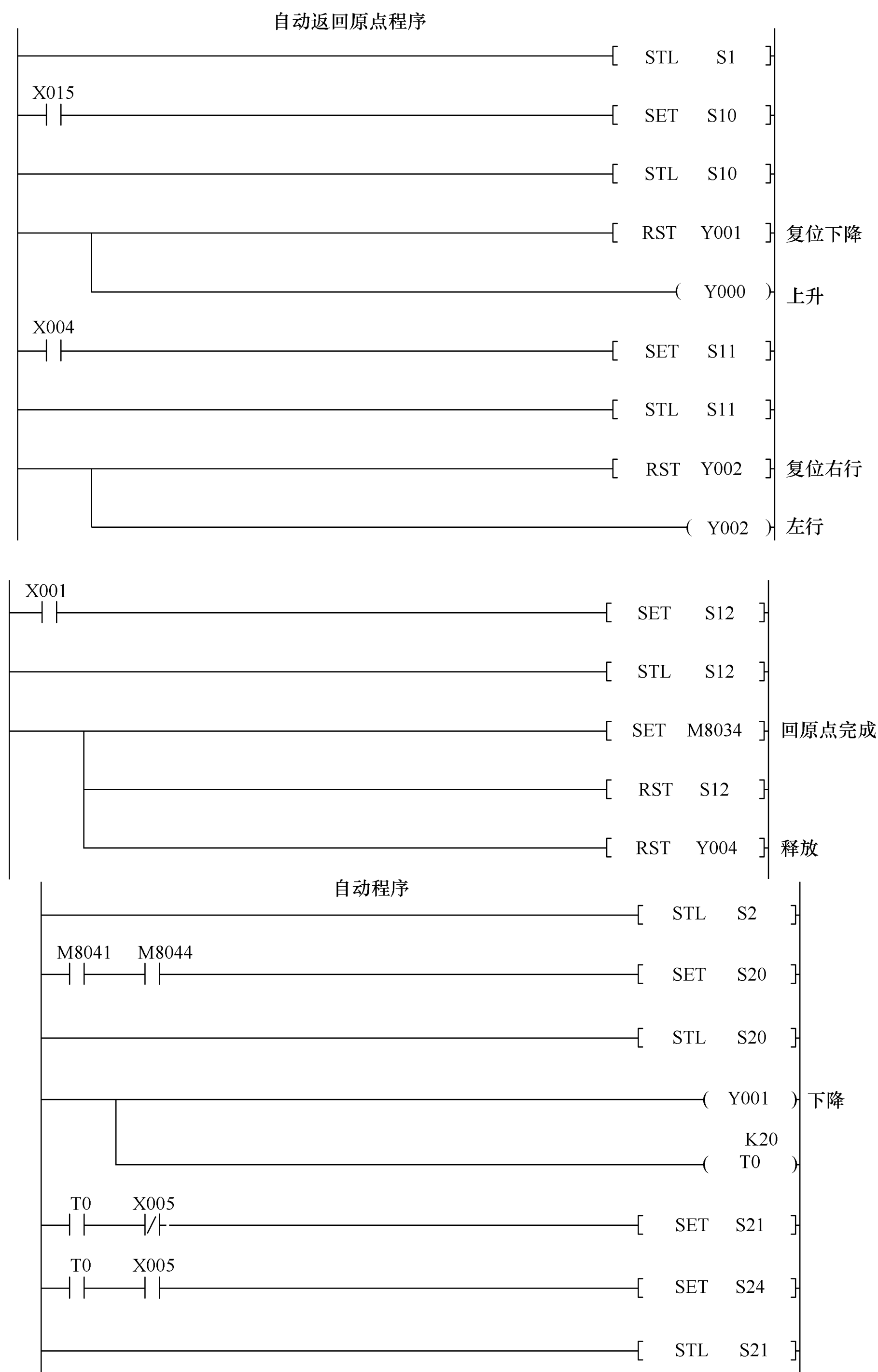



图 4-27 机械手分选大小球的梯形图（续）

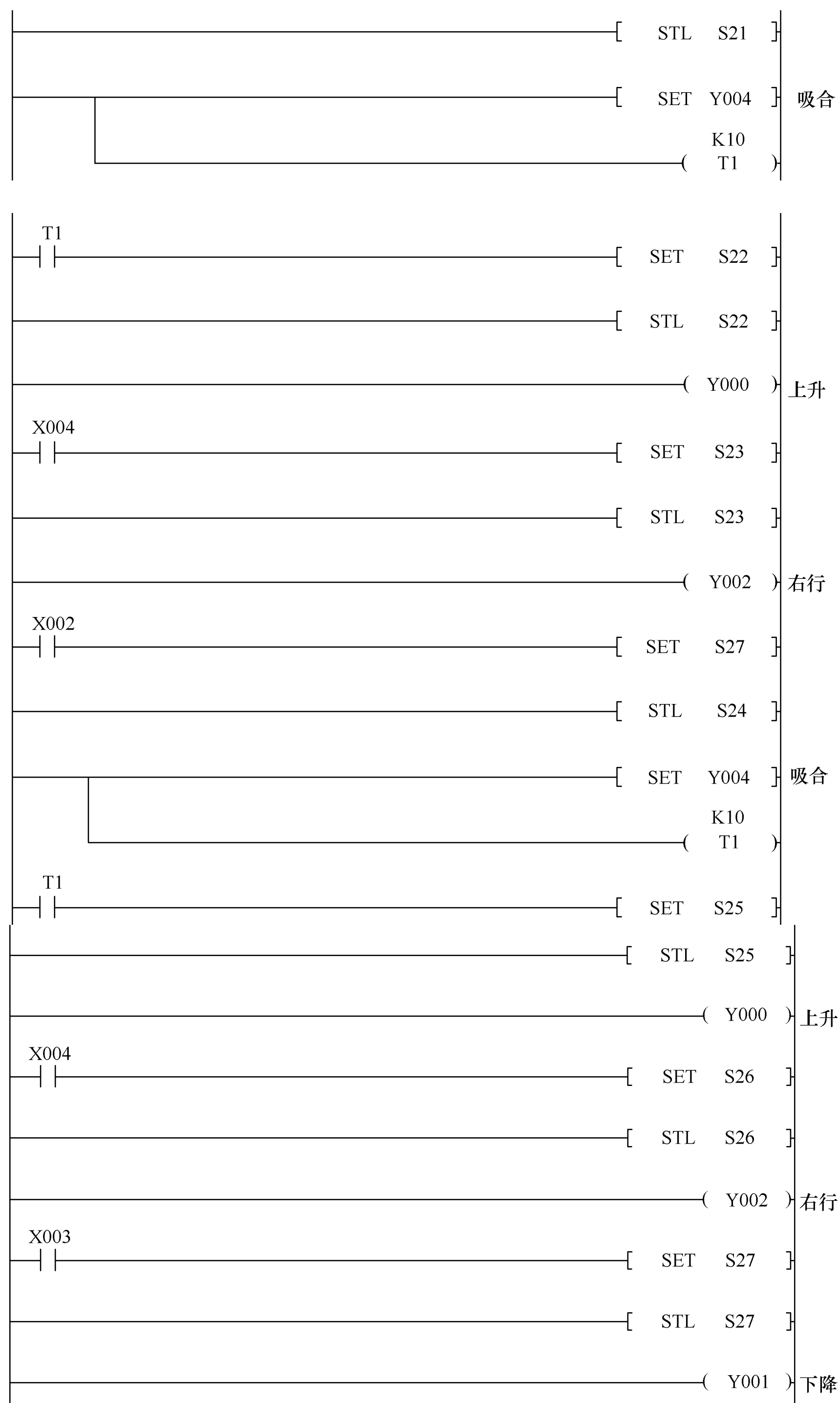



图 4-27 机械手分选大小球的梯形图（续）



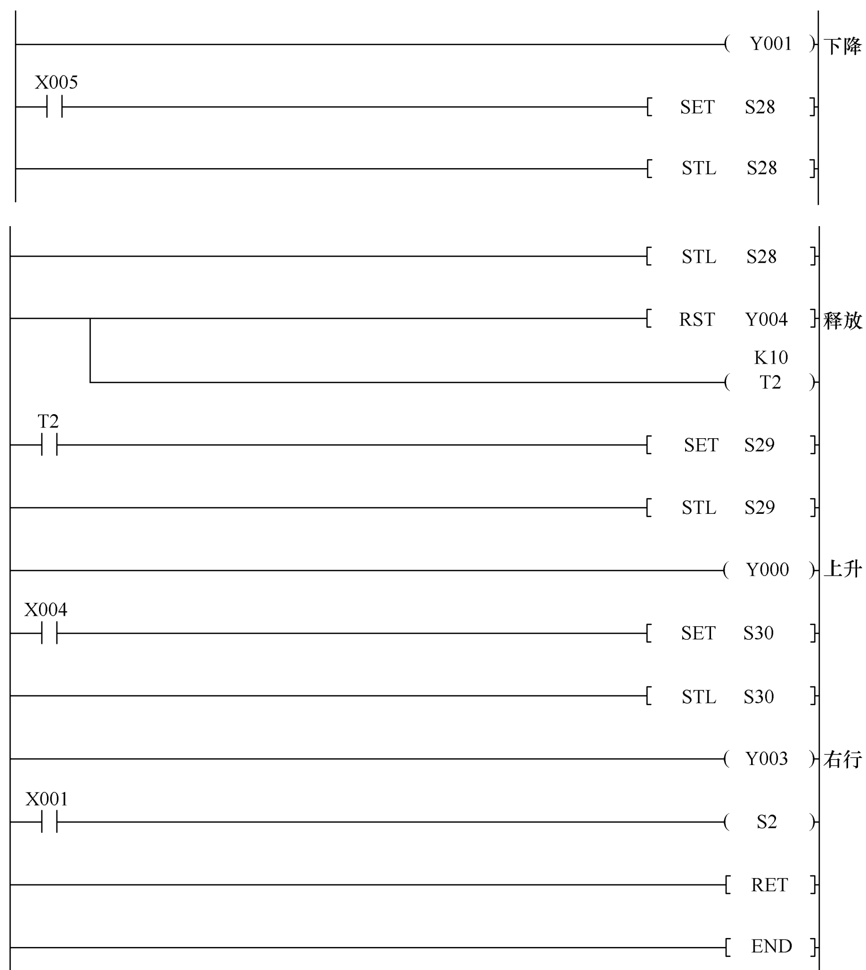



图 4-27 机械手分选大小球的梯形图（续）

# 第五章

# 三菱 FX 系列 PLC 的功能指令

## 第一节　功能指令的基本知识

PLC 的基本指令主要用于逻辑处理，这些指令是基于继电器、定时器、计数器等软元件的指令。作为工业控制用的计算机，PLC 仅仅具有基本指令是不够的，现代工业控制在许多场合需要数据处理及通信，所以产生了 PLC 的功能指令。

PLC 功能指令主要用于实现数据的传送、运算、变换及程序控制等功能。FX2N 系列 PLC 的功能指令大致可以分为程序流向控制、数据传送与比较、算术与逻辑运算、数据循环与移位、数据处理、高速处理、方便控制和外部设备通信等。

### 一、位元件和字元件

1. 位元件

输入继电器 X、输出继电器 Y、辅助继电器 M 和状态继电器 S 等元件在 PLC 的内部反映的是“位”的变化，主要用于开关量信息的传递、变换以及逻辑处理，我们把这些元件称为“位元件”。“位元件”只有闭合和断开（即 0 和 1）两种状态。

2. 字元件

由于功能指令的引入，需要处理大量的数据信息，需设置大量的用于存储数值数据的软元件，如各类存储器。另外，一定量的软元件组合在一起也可作为数据的存储。上述这些能处理数值数据的元件称为“字元件”。

3. 位组合元件

位组合元件是一种字元件。位元件的组合由 Kn 加首元件来表示。每 4 个位元件为一组，组合成一个单元。例如 KnX0，表示位组合元件是由从 X0 开始的 n 组（4n 个）位元件组合而成的。若 n 为 1，则 K1X0 是由 X3、X2、X1、X0 四位输入继电器组合而成的。若 n 为 3，则 K3X0 是由 X0 ~ X7、X10 ~ X13 共 12 位输入继电器组合而成的。

在采用“Kn + 首元件编号”方式组合成字元件时，首元件可以任选，但为了避免混乱，通常选尾数为 0 的元件为首元件，如 X0、X10、X20 等。

### 二、功能指令的格式

功能指令主要由功能指令助记符和操作元件（操作数）两大部分组成，其格式如图

5-1 所示。

1. 助记符

FX2N 系列 PLC 的功能指令按功能号 FNC00 ~ FNC246 编排，每条功能指令都有一个对应的指令助记符（大多用英文名称或缩写表示），它在很大程度上反映了该指令的功能特征。

例如，助记符为“MOV”的功能指令，指的是“传送指令”，它的功能号为“FNC12”。

功能指令的助记符和功能号是一一对应的。在使用功能指令编写梯形图程序时，若采用智能编程器或在计算机上编程，只需要输入该指令的助记符即可。若使用手持式简易编程器，通常是键入该指令的功能号。

2. 操作数

操作数是指功能指令涉及或产生的数据。大多数功能指令有 1 ~ 4 个操作数，而有的功能指令却没有操作数。操作数可分为源操作数、目标操作数及其他操作数。如图 5-2 所示。

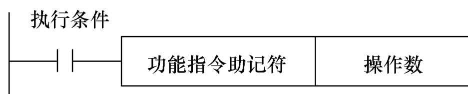






图 5-1　FX2N 系列 PLC 功能指令的格式




图 5-2　操作数应用举例（一）

操作数从根本上讲是参加运算数据的地址。地址是根据元件的类型分布在存储区中的。由于不同指令对参与操作的元件的类型有不同的限制，因此，操作数的取值就有一定的范围。正确地选取操作数类型，对正确使用指令有很重要的意义。

（1）源操作数

源操作数是指令执行后不改变其内容的操作数，用［S］表示。当有多个源操作数时可用［S1］、［S2］、［S3］分别表示。另外，［S·］表示允许变址寻址的源操作数。

在图 5-2 中，功能指令 ADD 的源操作数是 K100、K200。该功能指令将 K100 和 K200 这两个常数进行加法运算。

（2）目标操作数

目标操作数是指令执行后将改变其内容的操作数，用［D］表示。当目标操作元件不止一个时可用［D1］、［D2］、［D3］分别表示。另外，［D·］表示允许变址寻址的目标操作数。

在图 5-2 中，功能指令 ADD 的目标操作元件是数据寄存器 D30。

（3）其他操作数

其他操作数常用来表示常数或对源操作数或目标操作数作出补充说明。表示常数时，K 为十进制数，H 为十六进制数。如图 5-3 所示，K3 就表示十进制数 3。

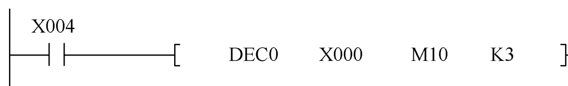



图 5-3 操作数应用举例（二）

3. 数据长度

功能指令按处理数据的长度分为 16 位指令和 32 位指令，其中 32 位指令在助记符前加“D”。如“DMOV”是指 32 位指令，“MOV”是 16 位指令。

4. 执行形式

功能指令的执行形式有脉冲执行型和连续执行型两种。如“MOVP”（有“P”）为脉冲执行型，表示在执行条件满足时仅仅执行一个扫描周期。而“MOV”（没有“P”）为连续执行型，表示在执行条件满足时，每一个扫描周期都要执行一次。执行形式对数据处理有很重要的意义，请特别注意区分。

## 三、数据寄存器（D）和变址寄存器（V、Z）

1. 数据寄存器

数据寄存器是用来存储 PLC 进行输入输出处理、模拟量控制、位置量控制时的数据和参数的。数据寄存器可分为通用型、断电保持型和特殊型三种。

1）通用数据寄存器包括 D0 ~ D199 共 200 点，一旦写入数据，只要不再写入其他数据，其内容就不会发生变化。

2）断电保持数据寄存器包括 D200 ~ D7999 共 7800 点，只要不改写，无论 PLC 是从运行到停止，还是停电状态，断电保持数据寄存器都将保持原有数据。

3）特殊数据寄存器包括 D8000 ~ D8255 共 256 点，主要供监控机内元件的运行方式用。

**元件说明：**

1）数据寄存器按十进制编号。

2）数据寄存器为 16 位，每位都只有“0”或“1”两个数值。其中最高位为符号位，其余为数据位，符号位的功能是指示数据位的正、负；符号位为 0 表示数据位的数据为正数，符号位为 1 表示数据为负数，如图 5-4 所示。一个数据寄存器可以存储 16 位数据，相邻的两个数据寄存器组合起来，可以存储 32 位的数据。

3）通用数据寄存器在 PLC 由 RUN→STOP 时，其数据全部清零。如果将特殊继电器 M8033 置 1，则 PLC 由 RUN→STOP 时，数据可以保持。

4）断电保持数据寄存器只要不被改写，原有数据就不会丢失，不论电源接通与否，PLC 运行与否，都不会改变寄存器的内容。

5）特殊数据寄存器用来监控 PLC 的运行状态，如扫描时间、电池电压等。

2. 变址寄存器（V、Z）

变址寄存器和通用数据寄存器一样，是进行数据、数值读、写的一种 16 位特殊用途

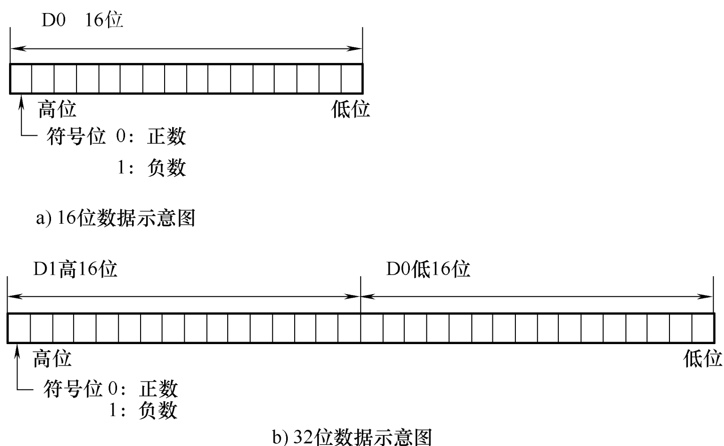



图 5-4 数据寄存器的数据长度

的数据寄存器，相当于微机中的变址寄存器，主要用于运算操作数地址的修改。FX2N 系列 PLC 的 V 和 Z 各有 8 点，分别为 V0 ~ V7、Z0 ~ Z7。

需要进行 32 位操作时，可将 V、Z 串联使用，Z 为低位，V 为高位，如图 5-5 所示。根据 V 与 Z 的内容进行修改元件地址号，成为元件的变址。可以使用变址寄存器进行变址的元件是 X、Y、M、S、T、C、P、D、K、H、KnX、KnY、KnM、KnS。这时，操作数的实际地址是现地址加上变址寄存器 V 或 Z 内所存的地址。例如，如果 V2 = 26，则 K100V2 为 K126（100 + 26 = 126）；如果 V4 = 16，则 D10V4 变为 D26（10 + 16 = 26）。但是变址寄存器不可以修改 V 和 Z 本身或位数制定用的 Kn 参数。例如，K2M0Z2 有效，而 K2Z2M0 则是无效的。图 5-6 所示为变址寄存器的应用。执行程序时，当 X0 = ON 的状态，则 D15 和 D26 的数据都是 K20。

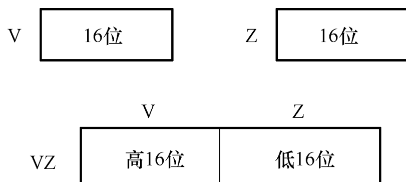



图 5-5 变址寄存器（V，Z）的组合使用

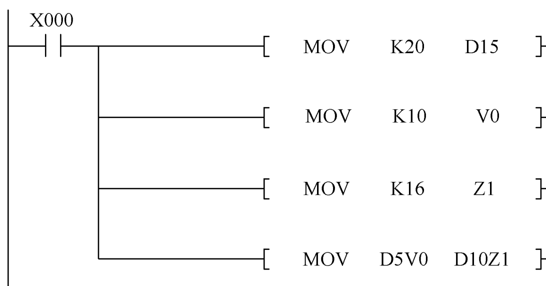



图 5-6 变址寄存器的应用

## 四、数制与码制

1. 基本概念

所谓数码，就是数制中表示基本数值大小的不同数字符号。例如，二进制有两个数码：0、1；十进制有 10 个数码：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

基数，就是指数制中所使用数码的个数。例如，二进制的基数为 2；十进制的基数

为 10。

位权，是指数制中某一位上的 1 所表示数值的大小（所处位置的价值）。例如，十进制数 123，1 的位权是 100，2 的位权是 10，3 的位权是 1。二进制数 1011，从高位开始，第一个 1 的位权是 8，0 的位权是 4，第二个 1 的位权是 2，第三个 1 的位权是 1。

2. 常用的基本数制

在计数的规则中，人们使用最多的进位计数制中，表示数的符号在不同的位置上时所代表的数的值是不同的。

十进制是人们日常生活中最熟悉的进位计数制，十进制用 D（decimal）来表示。在十进制中，数用 0，1，2，3，4，5，6，7，8，9 这十个符号来描述。计数规则是：逢十进一。

二进制是在计算机系统中采用的进位计数制，二进制用 B（binary）来表示。在二进制中，用 0 和 1 两个符号来描述。计数规则是：逢二进一。

八进制用 O（octal）来表示，八进制中包括 0，1，2，3，4，5，6，7 这八个符号。计数规则是：逢八进一。

十六进制是人们在计算机指令代码和数据的书写中经常使用的数制，十六进制用 H（hexadecimal）来表示。在十六进制中，数用 0，1，…，9 和 A，B，…，F 等 16 个符号来描述。计数规则是：逢十六进一。

3. 其他进制转换为十进制

方法：将其他进制按权位展开，然后各项相加，就可得到相应的十进制数。例如，将二进制的 11010 转换为十进制数的方法为

$$
\begin{aligned}
(11010)_2 &= 1\times 2^4 + 1\times 2^3 + 0\times 2^2 + 1\times 2^1 + 0\times 2^0 \\
&= 16 + 8 + 2 \\
&= (26)_{10}
\end{aligned}
$$

4. 将十进制转换其他进制

方法：把要转换的数除以新的进制的基数，把余数作为新进制的最低位；把上一次得的商再除以新的进制基数，把余数作为新进制的次低位；继续上一步，直到最后的商为零，这时的余数就是新进制的最高位。例如，将十进制的 58 转化为二进制，需要连续除以 2 取余数，即

$$(58)_{10} = (111010)_2$$

5. 二进制与八进制、十六进制的相互转换

二进制转换为八进制、十六进制的方法：它们之间满足 23 和 24 的关系，因此把要转换的二进制从低位到高位每 3 位或 4 位一组，高位不足时在有效位前面添“0”，然后把每组二进制数转换成八进制或十六进制即可。

八进制、十六进制转换为二进制时，把上面的过程逆过来即可。例如：

八进制：2　5　7·0　5　5　4

二进制：0 10 10 1 111·000 1 01 10 1 100

十六进制：A　F·　1　6　C



几种常用进制之间的对应关系如表5-1所示。

**表5-1 几种常用进制之间的对应关系**

| 十进制数 | 二进制数 | 八进制数 | 十六进制数 |
|---|---|---|---|
| 0 | 00000 | 0 | 0 |
| 1 | 00001 | 1 | 1 |
| 2 | 00010 | 2 | 2 |
| 3 | 00011 | 3 | 3 |
| 4 | 00100 | 4 | 4 |
| 5 | 00101 | 5 | 5 |
| 6 | 00110 | 6 | 6 |
| 7 | 00111 | 7 | 7 |
| 8 | 01000 | 10 | 8 |
| 9 | 01001 | 11 | 9 |
| 10 | 01010 | 12 | A |
| 11 | 01011 | 13 | B |
| 12 | 01100 | 14 | C |
| 13 | 01101 | 15 | D |
| 14 | 01110 | 16 | E |
| 15 | 01111 | 17 | F |

6. 常用的码制

原码是用“符号+数值”表示，对于正数，符号位为0，对于负数，符号位为1，其余各位表示数值部分。

在反码中，对于正数，其反码表示与原码表示相同；对于负数，符号位为1，其余各位是将原码数值按位取反。

在补码中，对于正数，其补码表示与原码表示相同；对于负数，符号位为1，其余各位是在反码数值的末位加“1”。

# 第二节 数据传送类指令

## 一、MOV、BMOV指令

1. MOV

MOV是数据传送指令，有16位操作MOV、MOV（P）和32位操作（D）MOV、（D）MOV（P）两种形式，16位操作时占5个程序步，32位操作时占9个程序步。

指令功能是，将源操作数S传送到目标元件D中。如果源操作数据是十进制常数，则CPU自动将其转换成二进制数后再传送到目标元件中。图5-7所示是MOV指令的应用格

式和操作数的范围，其功能是当 X2 闭合时将常数 10 传送到 D20 中。

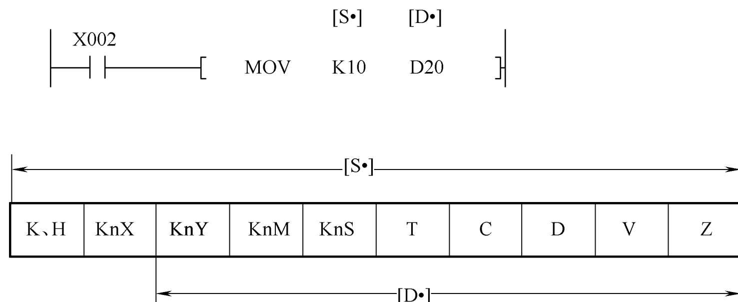



图 5-7　MOV 指令应用格式和使用范围

2. BMOV

BMOV 是数据块传送指令，其功能是将以源操作数为首地址的 n 个连续单元内的数据传送到以目标元件 D 为首地址的 n 个连续单元中去。

图 5-8 所示为 BMOV 指令的应用，当 X10 闭合时指令执行，将 D0～D2 内的 3 个数据分别传送到 D20～D22 中。

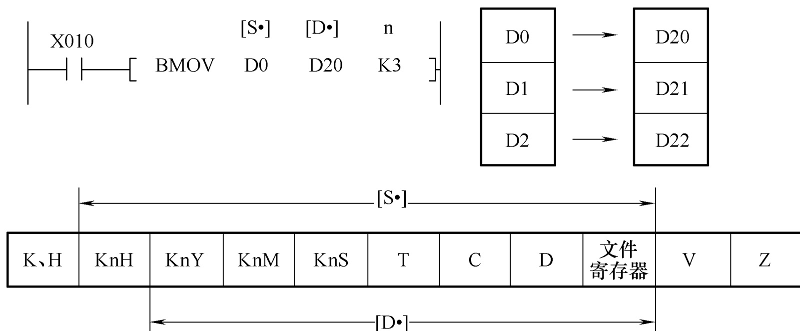



图 5-8　BMOV 指令的应用格式和使用范围

使用时应注意：

1）BMOV 指令中的源操作数与目标操作数是位组合元件时，要采用相同的位数，如图 5-9 所示。

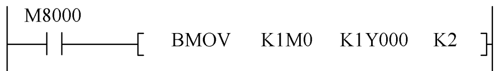



图 5-9　BMOV 指令操作数是位组合元件

2）利用 BMOV 指令可以将文件寄存器（D1000～D7999）中的数据读出并传送到目标元件中。

## 二、XCH 指令

XCH 是数据交换指令，有 16 位操作 XCH、XCH（P）和 32 位操作（D）XCH、（D）XCH（P）两种形式。

其功能是将指定的两个同类目标元件内的数据相互交换。图 5-10 所示为 XCH 指令的



应用格式与范围。

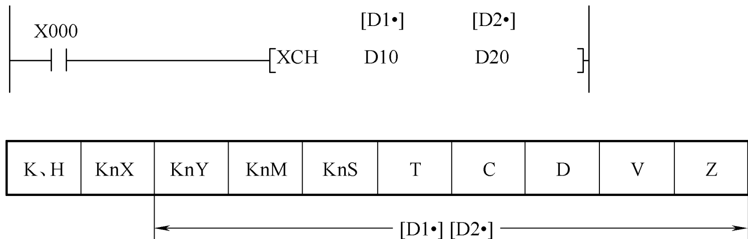



图 5-10　XCH 指令的应用格式与使用范围

XCH 指令的应用举例如图 5-11 所示。

在图 5-11 中当 X1 为 ON 时，将十进制数 20 传送给 D0，十进制数 50 传送给 D1；当 X2 为 ON 时，执行数据交换指令 XCH，将目标元件 D0、D1 里的数据进行交换，则 D0 中的数据为 50，D1 中的数据为 20。

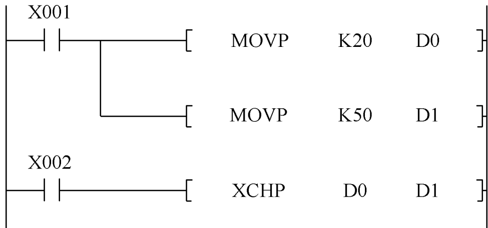



图 5-11　XCH 指令的应用

## 三、BCD、BIN 指令

1. BCD

BCD 是二－十进制转换指令，有 16 位操作 BCD、BCD（P）和 32 位操作（D）BCD、（D）BCD（P）两种形式。

指令功能是，将二进制源操作数 S 转换成 BCD 码，结果存放在目标元件 D 中。转换后的 BCD 码可直接输出到七段数码管显示，但其转换范围不能超过 0～9999（16 位）或 0～99999999（32 位），否则会出错。

图 5-12 所示为 BCD 码转换指令的应用格式和使用范围。当 X10 接通，则将执行 BCD 码转换指令，即将 D0 中的二进制数转换成 BCD 码，然后将低八位内容送到 Y0～Y7 中去。其执行过程如图 5-13 所示。

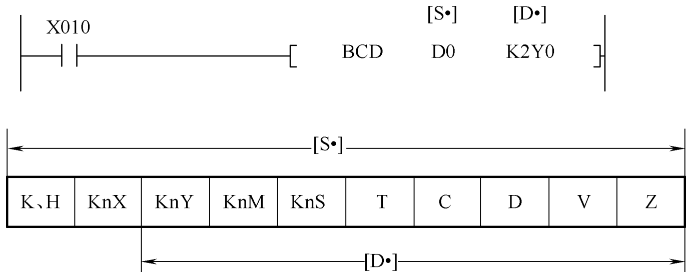



图 5-12　BCD 指令的应用格式和使用范围

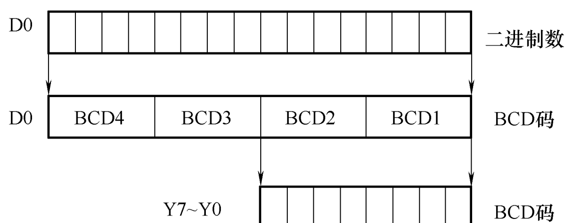



图 5-13　BCD 指令执行示意图

2. BIN

BIN 是十－二进制转换指令，有 16 位操作 BIN、BIN（P）和 32 位操作（D）BIN、（D）BIN（P）两种形式。

其功能是将源操作数内的 BCD 码数据转换成二进制数据并保存到目标元件中。被转换的 BCD 码数据可以直接从拨码盘输入。必须注意的是，源操作数内必须是 BCD 码数据，否则会出错。

图 5-14 所示为 BIN 指令的应用格式与使用范围。当 X10 接通，则将执行 BIN 转换指令，把从 X17～X10 上输入的两位 BCD 码，变换成二进制数，传送到 D0 的低八位中；把从 X27～X20 上输入的两位 BCD 码，变换成二进制数，传送到 D0 的高八位中。

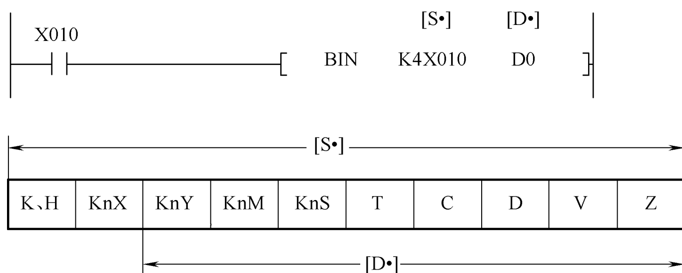



图 5-14　BIN 指令的应用格式与使用范围

指令执行过程如图 5-15 所示，设输入的 BCD 码为 63，如果直接输入，是二进制 01100011（十进制 99），就会出错。如用 BIN 转换指令输入，将会先把 BCD 码 63 转化成二进制 00111111，就不会出错了。

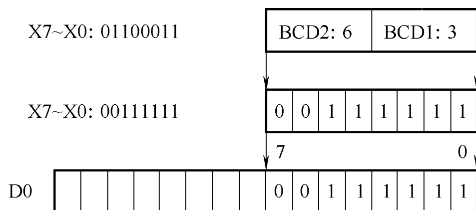



图 5-15　BIN 转换指令执行示意图

**【名师点拨】　数据传送类指令的应用**

**用 PLC 实现Y－△减压起动的控制**

图 5-16 为继电器接触器实现的Y－△减压起动控制。按下起动按钮，先进行Y减压起动，时间为 5s，起动结束后，定子绕组接成△正常运行；按下停止按钮，电动机停止转动。



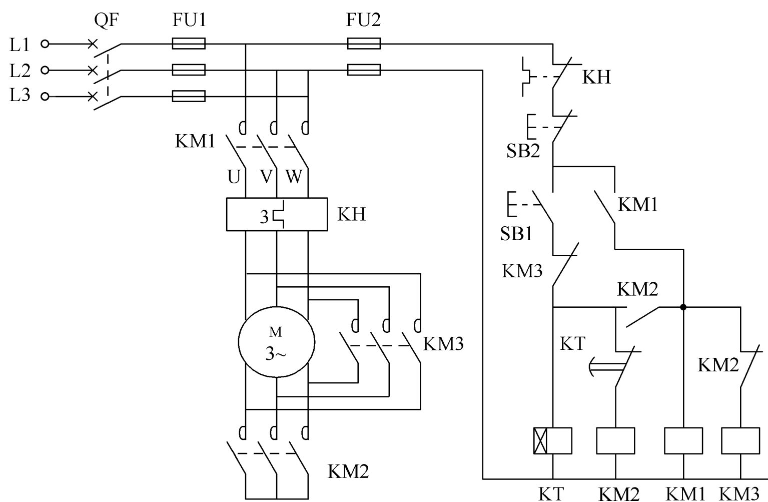



图 5-16 Y-△减压起动控制电路图

I/O 分配表如表 5-2 所示。

**表 5-2 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X1 | Y1 | KM1 | 主交流接触器 |
| 停止按钮 | SB2 | X2 | Y2 | KM2 | Y交流接触器 |
| | | | Y3 | KM3 | △交流接触器 |

PLC 接线图如图 5-17 所示。

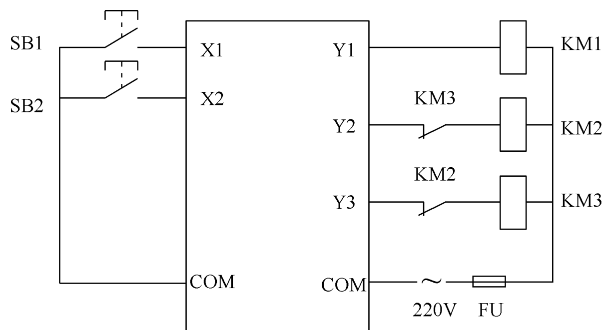



图 5-17 Y-△减压起动控制 PLC 接线图

PLC 梯形图控制程序如图 5-18 所示。

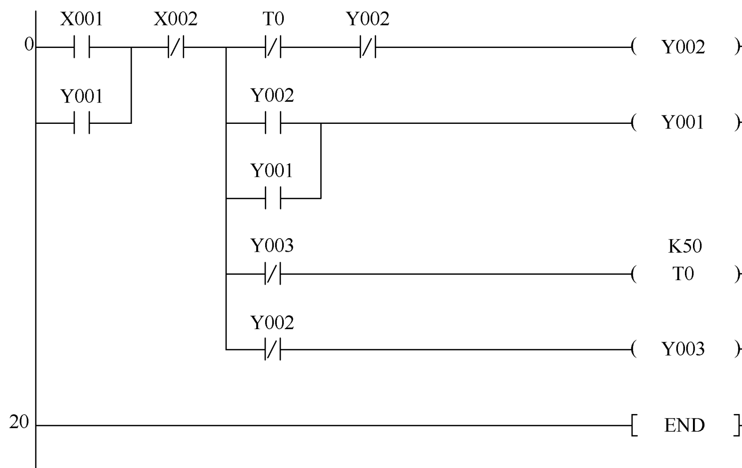



图 5-18　基本指令实现Y－△减压起动控制梯形图

用数据传送类指令实现的Y－△减压起动控制梯形图如图 5-19 所示。

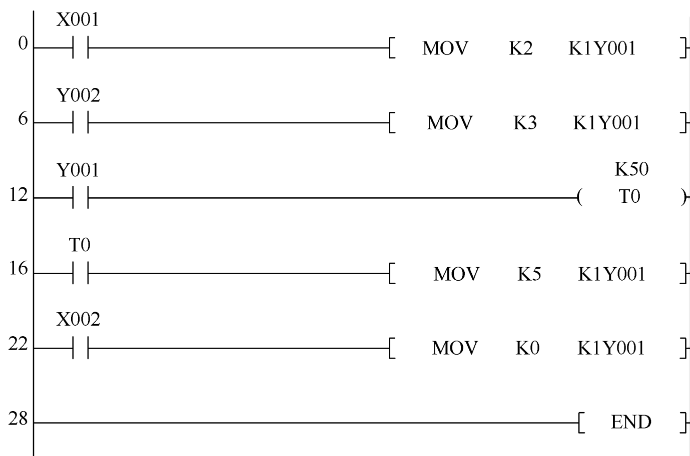



图 5-19　功能指令实现的Y－△减压起动控制梯形图

# 第三节　数据比较类指令

## 一、CMP 指令

CMP 是数据比较指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。

其功能是将源操作数 S1 与 S2 进行比较，结果用 3 个地址连续的目标位元件的状态来表示，如图 5-20 所示。当 X0 = ON 时，执行 CMP，目标元件由 M10 为首地



址的三位来表示（即 M10、M11、M12 三个位元件组成），指令执行后有三种可能的结果：

若［S1·］>［S2·］，则 M10 置 1；若［S1·］=［S2·］，则 M11 置 1；若［S1·］<［S2·］，则 M12 置 1。

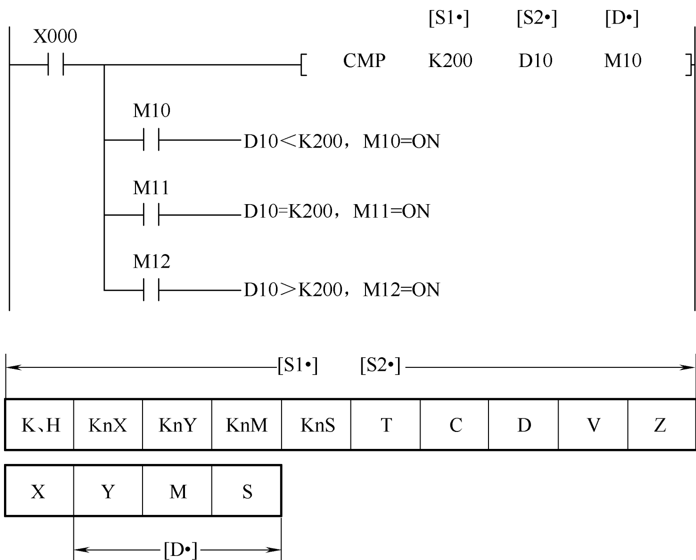



图 5-20　CMP 指令的应用格式和使用范围

使用说明：

1）不执行指令操作时，目标元件状态保持不变，除非用 RST 指令将其复位。

2）目标元件只能是 Y、M、S。

## 二、ZCP 指令

ZCP 是数据区间比较指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。

其功能是源操作数 S3 与 S1 和 S2 构成的数据区间（注意必须满足 S1 < S2）进行比较，结果由 3 个连续的目标元件来表示。图 5-21 所示为 ZCP 指令的应用格式和使用范围。当 S3 < S1，目标元件 M10 置 1；S1 < S3 < S2，目标元件 M11 置 1；S3 > S2，目标元件 M12 置 1。指令不执行时目标元件的状态不变。

使用说明：

1）源操作数必须满足 S1 < S2 的条件。

2）目标元件只能是 Y、M、S。

3）如果要清除比较结果，需要采用复位指令 RST，在不执行指令，需要清除比较结果时，也要用复位指令 RST 或 ZRST。

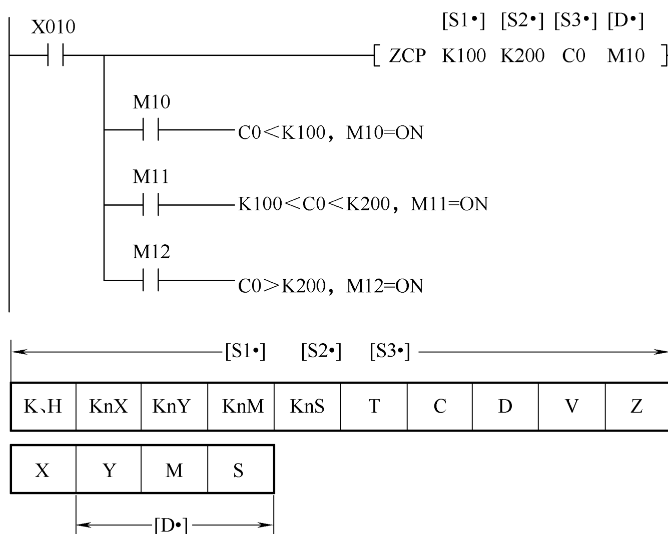



图 5-21　ZCP 指令的应用格式和使用范围

**【名师点拨】　数据比较类指令的应用**

简易定时报时器控制系统

设定一个住宅控制器的控制程序（每 15min 为一个设定单位，则 24h 共有 96 个时间单位），具体控制要求如下：

1）早上 6 点起床，闹钟每秒响一次，30s 后自动停止。

2）早上 9 点到下午 17 点，起动住宅报警系统。

3）18 点打开住宅照明系统。

4）22 点关闭住宅照明系统。

I/O 分配表：

根据对控制要求的分析，进行 I/O 分配如表 5-3 所示。

**表 5-3　I/O 分配表**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起停开关 | SB1 | X0 | Y0 | KM1 | 闹钟 |
| 15min 试验开关 | SB2 | X1 | Y1 | KM2 | 住宅报警监控 |
| 格数试验开关 | SB3 | X2 | Y2 | | 住宅照明 |

梯形图如图 5-22 所示。



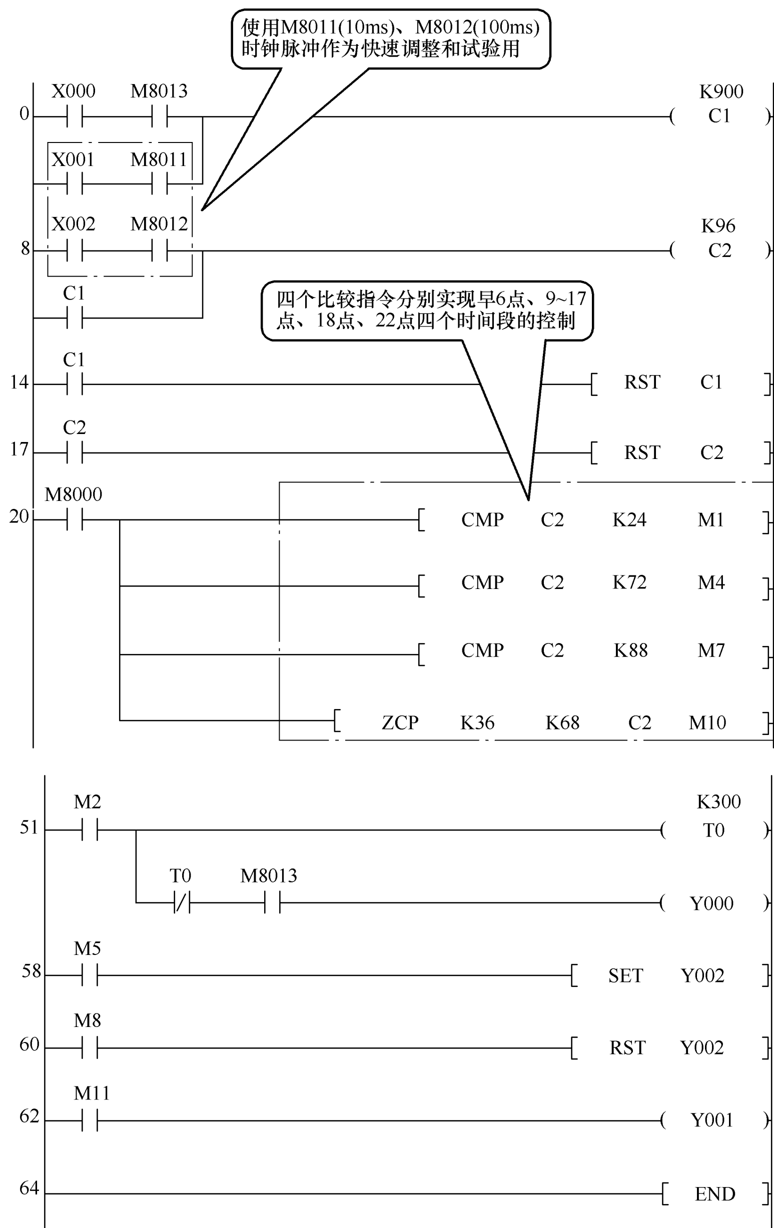



图 5-22 简易定时报时器控制系统梯形图

# 第四节　循环移位类指令

## 一、ROR、ROL 指令

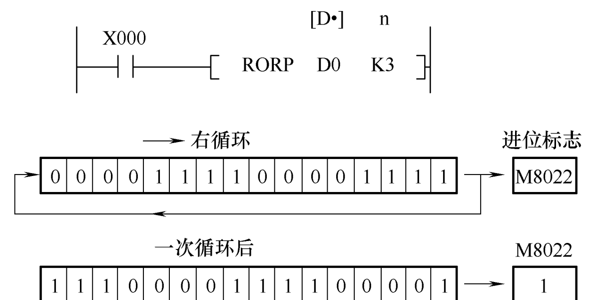
ROR 是循环右移指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。其功能是在执行条件满足时，将目标元件 D 中的位循环右移 n 位，最后被移出位同时被存放在进位标志 M8022 中。

ROL 是循环左移指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。其功能是在执行条件满足时，将目标元件 D 中的位循环左移 n 位，最后被移出位同时被存放在进位标志 M8022 中。ROR、ROL 指令的应用格式和使用范围如图 5-23 所示。

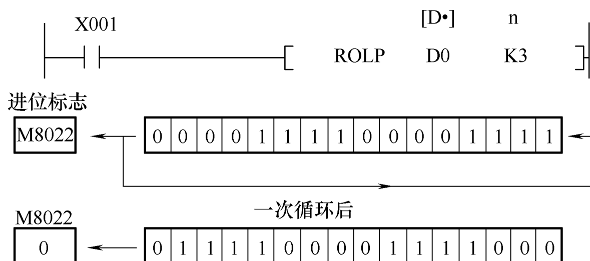
在图 5-23a 中，如果 D0 = 0000 1111 0000 1111，则执行一次循环右移指令后，D0 = 1110 0001 1110 0001，并且 M8022 = 1。

## 二、RCR、RCL 指令

RCR 是带进位的右循环移位指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。其功能是在执行条件满足时，将目标元件 D 中的数据与进位位一起（16 位指令时一共 17 位）向右循环移动 n 位。



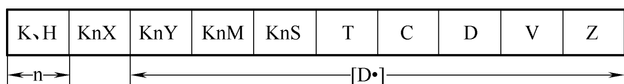

a) ROR指令的应用




b) ROL指令的应用

图 5-23　ROR、ROL 指令的应用格式和使用范围

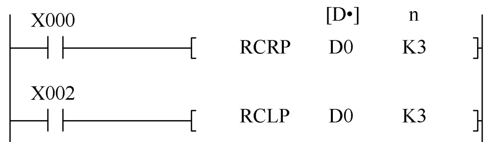





c) ROR、ROL指令的使用范围

图 5-23　ROR、ROL 指令的应用格式和使用范围（续）

RCL 是带进位的左循环移位指令，有 16 位操作和 32 位操作两种形式。其功能是在执行条件满足时，将目标元件 D 中的数据与进位位一起（16 位指令时一共 17 位）向左循环移动 n 位。RCR、RCL 指令的应用格式和使用范围如图 5-24 所示。



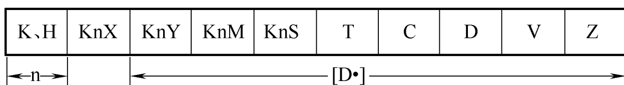
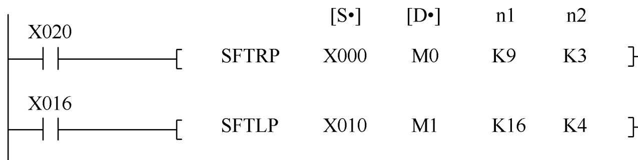



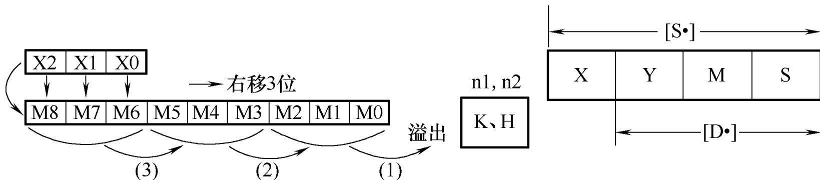

图 5-24　RCR、RCL 指令的应用格式和使用范围

## 三、SFTR、SFTL 指令

SFTR 是位的右移指令、SFTL 是位的左移指令。其功能是使目标元件中的状态成组的向右（左）移动，其中 n1 指定目标元件的长度，n2 指定移位的位数。图 5-25 所示为位移动指令的应用格式和使用范围。




a) SFTR、SFTL指令的应用格式




b) SFTR指令的移位举例　　c) 操作数的范围

图 5-25　位移动指令的应用格式和使用范围

【名师点拨】 循环移位类指令的应用

流水灯光控制

按下起动按钮后，八盏灯以正序每隔1s轮流点亮，当最后一盏灯亮后，停3s，然后以反序每隔1s轮流点亮，当第一盏灯亮后，再停3s，重复以上过程。当按下停止按钮时，停止工作。

I/O分配表：

根据对控制要求的分析，进行I/O分配如表5-4所示。

表5-4 I/O分配表

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X1 | Y7 ~ Y0 | HL | 灯光控制 |
| 停止按钮 | SB2 | X2 | | | |

梯形图：

流水灯光控制梯形图如图5-26所示。

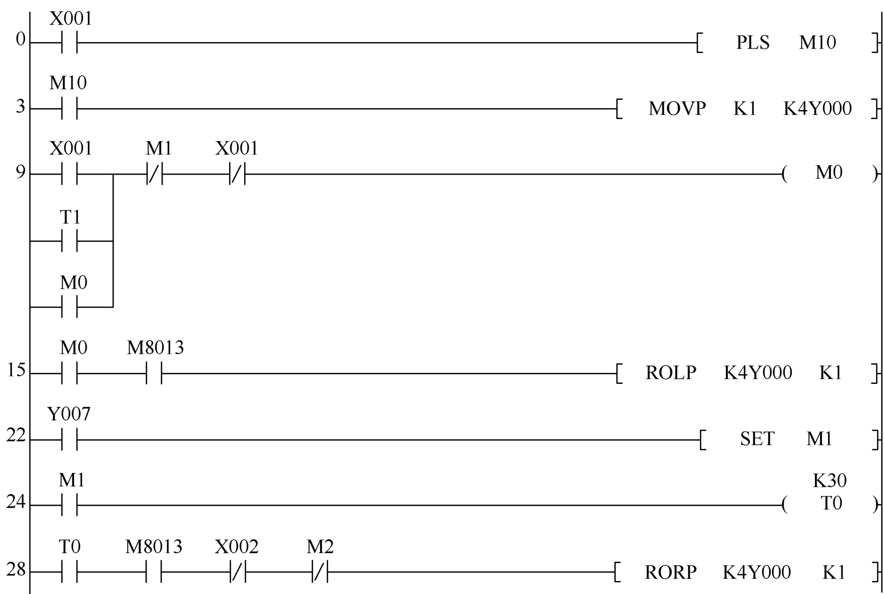



图5-26 流水灯光控制梯形图



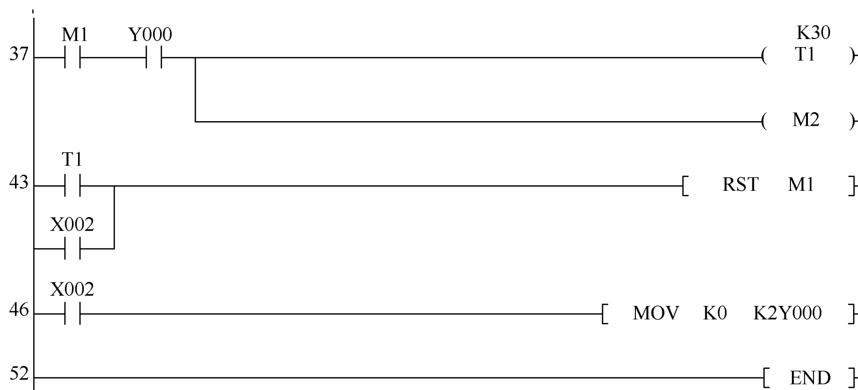


图 5-26 流水灯光控制梯形图（续）

# 第五节 数据处理类指令

## 一、ZRST 指令

ZRST 是区间复位指令，16 位操作有 ZRST、ZRST（P）。其功能是指定同类目标元件范围内的元件复位，指定元件必须属于同一类，且 D1 < D2。当指定目标元件为通用计数器时，不能含有高速计数器。ZRST 指令的应用格式和使用范围如图 5-27 所示。

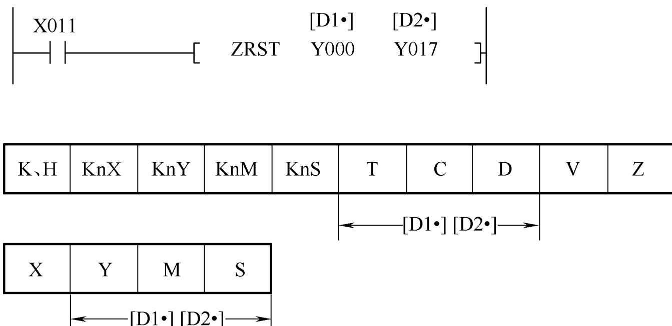


图 5-27 ZRST 指令的应用格式和使用范围

## 二、DECO、ENCO、BON 指令

1. DECO

DECO 是译码指令，16 位操作有 DECO、DECO（P）。其功能是将目标元件的某一位置 1，其他位置 0，置 1 的位的位置由源操作数 S 为首地址的 n 位连续位元件或数据寄存

器所表示的十进制码决定。常数 n 标明参与该指令操作的源操作数共 n 位，目标操作数共有 $2^n$ 位。图 5-28 所示为 DECO 指令的应用格式和使用范围。

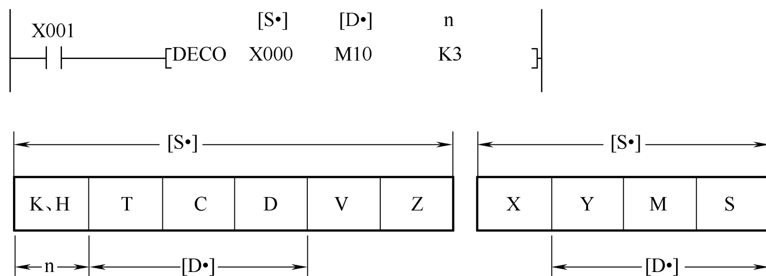



图 5-28　DECO 指令的应用格式和使用范围

在图 5-28 中，以 X0 为首地址的 3 位（n = 3）X2X1X0 = 101，用十进制数表示为 5；当 X1 = ON 时，执行 DECO 指令，将以 M10 为首地址的 8 位（$2^3 = 8$）中的第 5 位置 1，其他位置 0。其执行过程如图 5-29 所示。

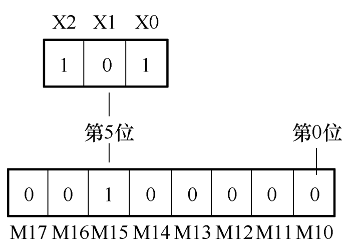



图 5-29　DECO 指令执行示意图

2. ENCO

ENCO 是编码指令，16 位操作有 ENCO、ENCO（P）。其功能是将源操作数为 1 的最高位的位置存放在目标元件中。图 5-30 所示为 ENCO 指令的应用格式和使用范围。

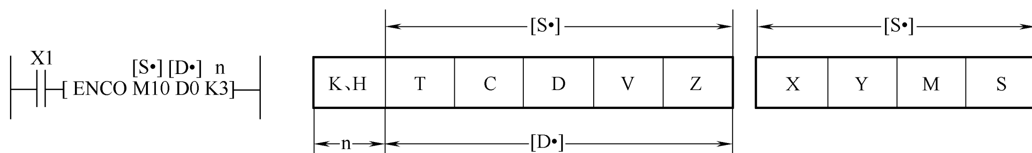



图 5-30　ENCO 指令的应用格式和使用范围

在图 5-31 中，对源操作数 M10 为首地址的连续八个位元件 M10 ~ M17 进行编码，其结果存入 D0 中。若 M13 = 1，其余位均为 0，则 ENCO 指令执行后将 3 存入到 D0 中。则 D0 = 0000 0000 0000 0011。如果 M10 ~ M17 中有两个或两个以上的位为 1，则只有最高位的 1 有效。

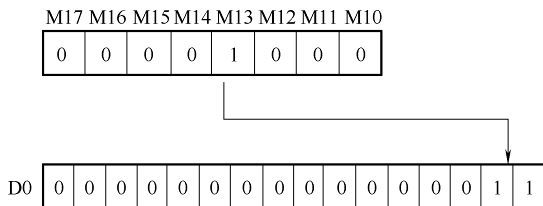



图 5-31　ENCO 指令执行示意图

3. BON

BON 是位判别指令，16 位操作有 BON、BON（P）和 32 位操作（D）BON、（D）BON（P）两种形式。

其功能是判断源操作数第 n 位的状态并将结果存放在目标元件中。常数 n 表示对源操作数首位（0 位）的偏移量。如果 n = 0 是判断第 1 位的状态；n = 15 时是判断第 16 位的状态。因此对于 16 位源操作数，n 的取值范围是 0 ~ 15，对于 32 位操作，n 的取值是 0 ~ 31。图 5-32 所示为 BON 指令的应用格

式和使用范围。

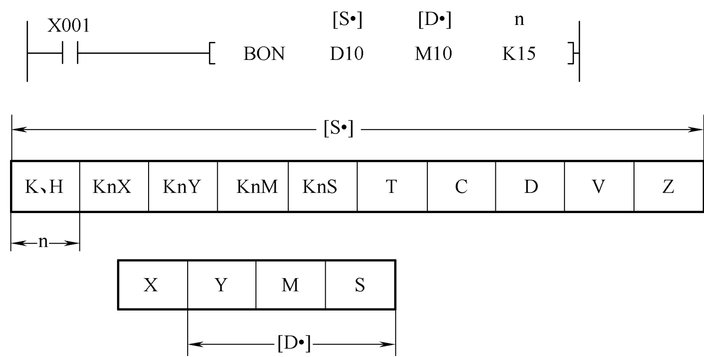



图 5-32 BON 指令的应用格式和使用范围

在图 5-32 中，X1 闭合时，每扫描一次梯形图就将 D10 的第 15 位状态存入到 M10 中去。

**【名师点拨】 数据处理类指令的应用**

**单按钮实现 5 台电动机的起停控制**

用单按钮实现 5 台电动机的起停。按下按钮一次（保持 1s 以上），1 号电动机起动，再按按钮，1 号电动机停止；按下按钮两次（第二次保持 1s 以上），2 号电动机起动，再按按钮，2 号电动机停止；依次类推，按下按钮 5 次（最后一次保持 1s 以上），5 号电动机起动，再按按钮，5 号电动机停止。利用 PLC 控制程序实现以上功能。

I/O 分配表：

根据对控制要求的分析，进行 I/O 分配如表 5-5 所示。

**表 5-5 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起动按钮 | SB1 | X1 | Y0 | KM1 | 1 号电动机 |
| | | | Y1 | KM2 | 2 号电动机 |
| | | | Y2 | KM3 | 3 号电动机 |
| | | | Y3 | KM4 | 4 号电动机 |
| | | | Y4 | KM5 | 5 号电动机 |

梯形图：

单按钮实现 5 台电动机的起停控制梯形图如图 5-33 所示。

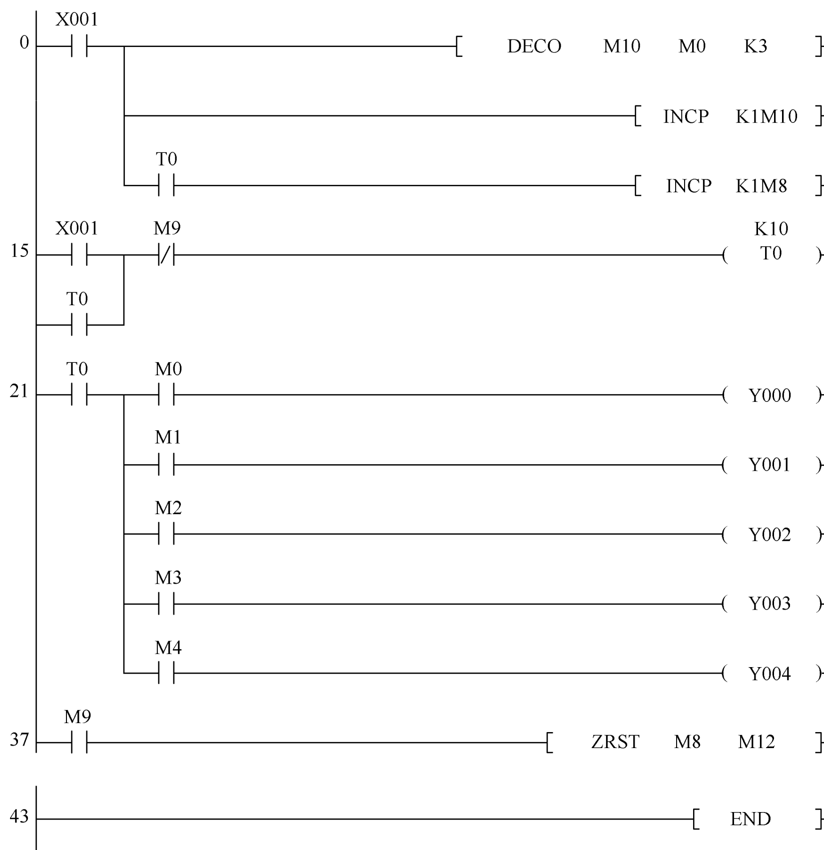



图 5-33 单按钮实现 5 台电动机的起停控制梯形图

# 第六节 四则运算指令

## 一、ADD、SUB 指令

1. ADD

ADD 是二进制加法指令，有 16 位操作 ADD、ADD（P）和 32 位操作（D）ADD、（D）ADD（P）两种形式。

指令功能是将两个源操作数相加（二进制代数运算），结果存到目标元件 D 中。图 5-34是 ADD 指令的应用格式和使用范围。

加法指令 ADD 有三个常用的标志，M8020 为零标志、M8022 为进位标志、M8021 为借位标志。

执行 ADD 指令后，若计算结果为 0，则零标志位 M8020 置 1；若结果超过 32767（16 位）或 2147483647（32 位），则进位标志 M8022 置 1；若结果小于 －32768（16 位）

或－2147483648（32 位），则借位标志 M8021 置 1。

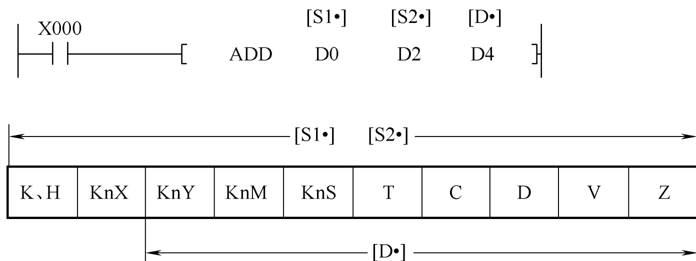



图 5-34　ADD 指令的应用格式和使用范围

2. SUB

SUB 是二进制减法指令，有 16 位操作 SUB、SUB（P）和 32 位操作（D）SUB、（D）SUB（P）两种形式。

指令功能是把源操作数 S1 减去 S2，将结果存到目标元件 D 中。运算中标志位的动作、与数值的正负之间的关系，以及指令的使用与加法指令相同。图 5-35 所示为 SUB 指令的应用格式和使用范围。

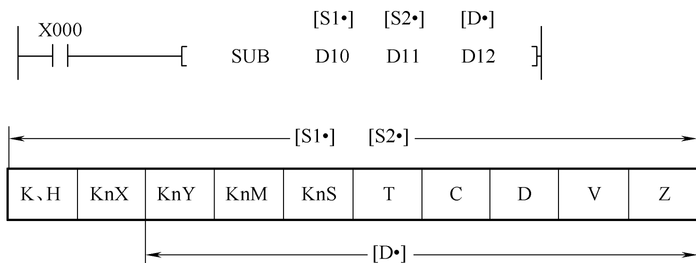



图 5-35　SUB 指令的应用格式和使用范围

## 二、MUL、DIV 指令

1. MUL

MUL 是二进制乘法指令，有 16 位操作 MUL、MUL（P）和 32 位操作（D）MUL、（D）MUL（P）两种形式。

指令功能是把源操作数 S1 与 S2 相乘，将结果存到目标元件 D 中。当源操作数是 16 位时，目标操作数是 32 位，则［D·］为目标操作数的首地址。图 5-36 所示为 MUL 指令的应用格式和使用范围。

2. DIV

DIV 是二进制除法指令，有 16 位操作 DIV、DIV（P）和 32 位操作（D）DIV、（D）DIV（P）两种形式。

指令功能是将指定的源元件中的二进制相除，［S1·］为被除数，［S2·］为除数，商送到指定的元件［D·］中去，余数送到［D·］的下一个目标元件中去。图 5-37 所示为 DIV 指令的应用格式和使用范围。

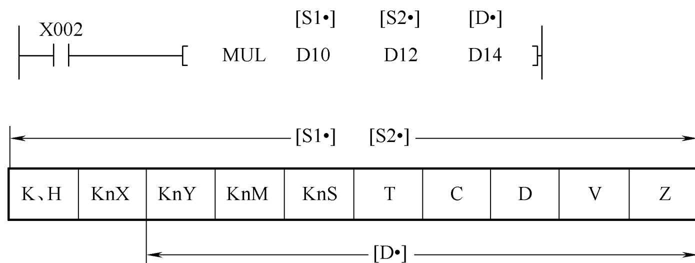



图 5-36　MUL 指令的应用格式和使用范围

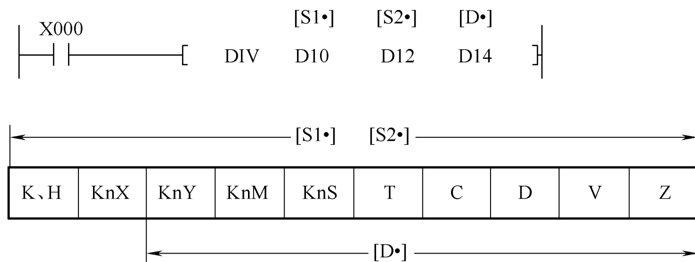



图 5-37　DIV 指令的应用格式和使用范围

## 三、INC、DEC 指令

1. INC

INC 指令为加 1 指令。指令功能是当条件满足时，将指定元件［D·］中的二进制数自动加 1。图 5-38 所示为 INC 指令的应用格式和使用范围。当 X0 接通时，D10 里的数据自动加 1。如果使用连续执行型 INC 指令，则每个扫描周期指定元件中的数据都要加 1。

16 位运算时，+32767 再加 1 就变为 -32768，但标志位不置位。同样，在 32 位运算时，+2147483647 再加 1 就变成 -2147483648，标志位也不置位。

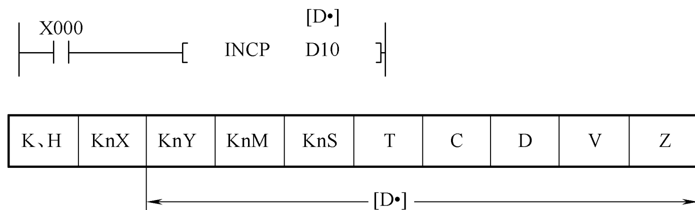



图 5-38　INC 指令的应用格式和使用范围

2. DEC

DEC 指令为减 1 指令。其功能是当条件满足时，将指定元件［D·］中的二进制数自动减 1。图 5-39 所示为 DEC 指令的应用格式和使用范围。当 X10 接通时，D12 里的数据自动减 1。如果使用连续执行型 DEC 指令，则每个扫描周期指定元件中的数据都要减 1。

在进行 16 位运算时，-32768 再减 1 就变为 +32767，但标志位不置位。同样，在 32 位运算时，-2147483648 再减 1 就变成 +2147483647，标志位也不置位。



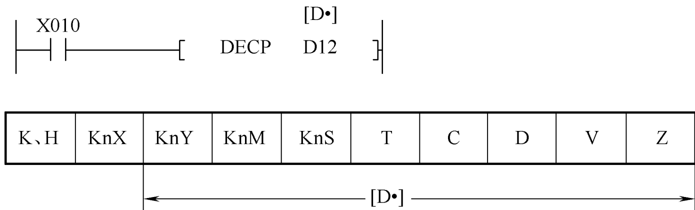



图 5-39 DEC 指令的应用格式和使用范围

**【名师点拨】 四则运算指令的应用**

彩灯控制（一）

用乘除法指令实现灯组的移位循环：一组灯共 14 个，要求当 X0 为 ON 时，灯正序每隔 1s 单个移动，并循环；当 X1 为 ON 且 Y0 为 OFF 时，灯反序每隔 1s 单个移位，至 Y0 为 ON 时停止。

根据对控制要求的分析，进行 I/O 分配如表 5-6 所示。

**表 5-6 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 正序开关 | SB1 | X0 | Y0 ~ Y7<br>Y10 ~ Y15 | HL | 显示 |
| 反序开关 | SB2 | X1 | | | |

梯形图：

彩灯控制梯形图如图 5-40 所示。

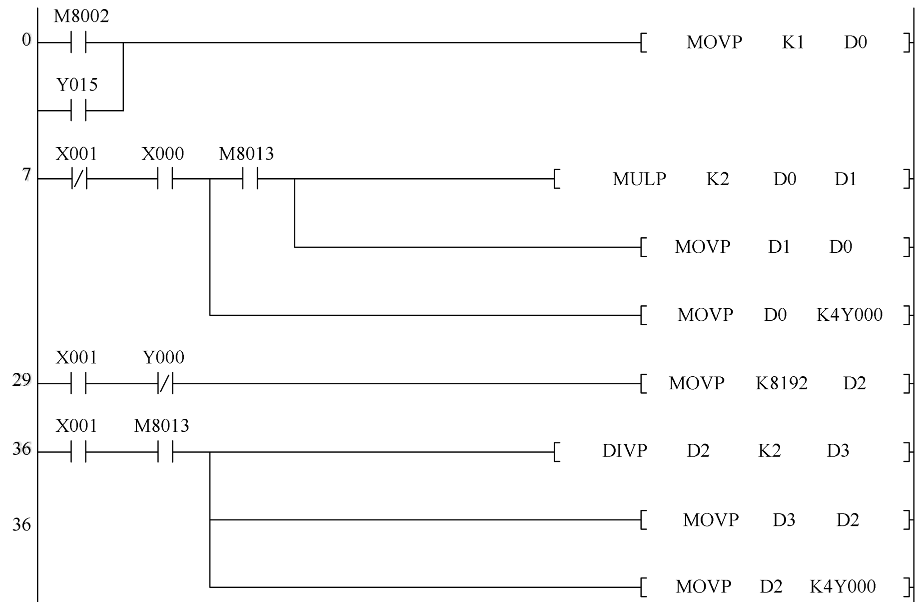



图 5-40 彩灯控制（一）梯形图

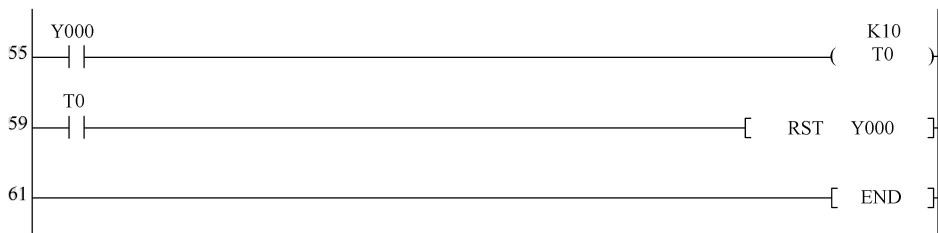



图 5-40 彩灯控制（一）梯形图（续）

彩灯控制（二）

有 12 盏彩灯正序亮至全亮、反序熄灭至全部熄灭，然后再循环。用一个起停开关来控制。

I/O 分配表：

根据对控制要求分析，进行 I/O 分配如表 5-7 所示。

**表 5-7 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 起停按钮 | SB1 | X1 | Y0 ~ Y7<br>Y10 ~ Y13 | HL | 显示 |

梯形图：

彩灯控制梯形图如图 5-41 所示。

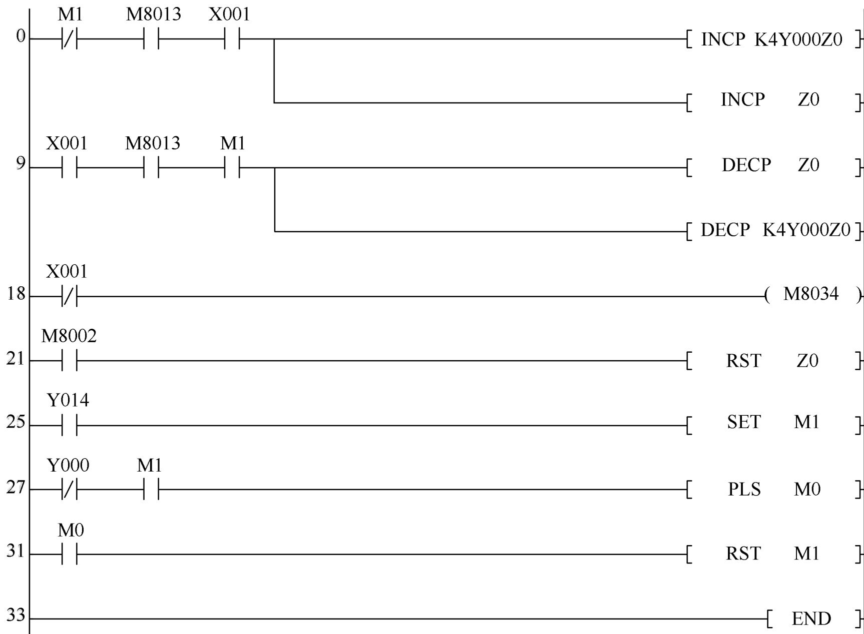



图 5-41 彩灯控制（二）梯形图

# 第七节 跳转与循环程序

## 一、CJ 指令

CJ 为条件跳转指令，其功能是当跳转条件成立时跳过一段指令，跳转至指令中所标明的标号处继续执行；若条件不成立则继续顺序执行。由于被跳过的梯形图不再被扫描，所以可以缩短扫描周期。

FX2N 系列 PLC 的指针有 P0 ~ P127 共 128 点，指针 P 作为一种标号，用于跳转指令 CJ 或子程序调用指令 CALL 的跳转或调用。

指针 P 在使用时要注意以下几种情况：

1）一个指针只能出现一次，如果出现两次或两次以上，就会出错。

2）多条跳转指令可以使用相同的指针。

3）P63 是 END 所在的步序，在程序中不需要设置 P63。

4）跳转指令具有选择程序段的功能。在同一个程序段中，位于不同程序段的程序不会被同时执行，所以不同程序段中的同一线圈不能视为双线圈。

5）指针可以出现在相应的跳转指令之前，但是，如果反复跳转的时间超过监控定时器的设定时间，会引起监控定时器出错。

例如，在工业控制中，为了提高设备的可靠性，许多设备需要建立自动和手动两种工作方式。这就要求在编程中书写两段程序，一段用于手动，一段用于自动。然后设立一个自动/手动的转换开关，以便对程序段进行选择。其功能可以通过图 5-42 表示。

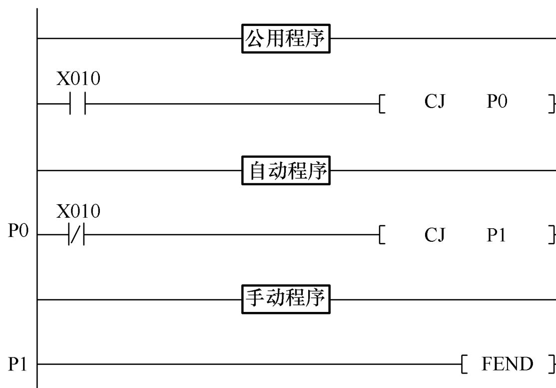



图 5-42 用跳转指令实现的自动/手动切换程序

图中，X10 为自动/手动的切换开关，当它为 ON 时，跳过自动程序，执行手动程序；当它为 OFF，将跳过手动程序，执行自动程序。公用程序用于自动程序和手动程序相互切换的处理。

我们再通过一个实例来了解条件跳转指令 CJ 的使用，如图 5-43 所示。

在图 5-43 中，有

1）若 M0 接通，则 CJ P0 的跳转条件成立，程序将跳转到标号为 P0 处。因为 M0 常闭是断开的，所以 CJ P1 的跳转条件不成立，程序顺序执行。按照 M3 的状态对 Y0 进行处理。

2）若 M0 断开，则 CJP0 的跳转条件不成立，程序会按照指令的顺序执行下去。执行到 P0 标号处时，由于 M0 常闭是接通的，则 CJP1 的跳转条件成立，因此程序就会跳转到 P1 标号处。

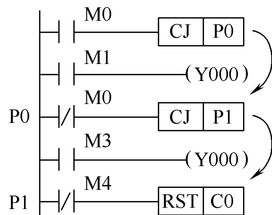



图 5-43　条件跳转指令的使用

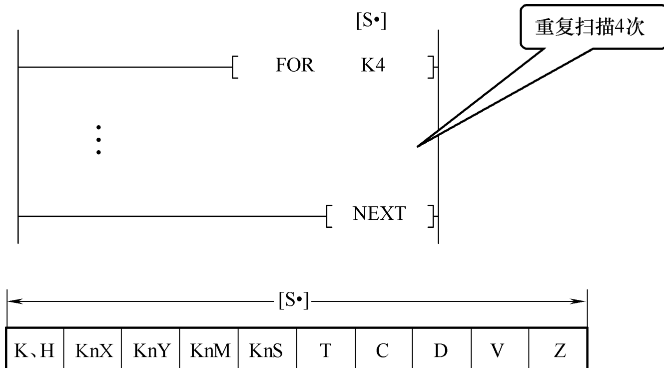
3）Y0 为双线圈输出。

在程序执行过程中，M0 常开和 M0 常闭是一对约束条件，所以线圈 Y0 的驱动逻辑在任何时候只有一个会发生，所以在图 5-43 中所出现 Y0 的双线圈输出是可以的。

## 二、FOR、NEXT 指令

在某些工业控制场合，一些操作需要反复进行。例如，对某一采样数据做一定次数的加权运算，或利用反复的加减运算完成一定量的增加或减少、利用反复的乘除运算完成一定量的数据移位等，这些功能都可以通过循环程序来实现。

FOR 和 NEXT 指令是一组循环指令，必须成对使用。FOR 为循环开始指令，其操作数适用于所有的字元件，功能是表示循环扫描从 FOR 到 NEXT 之间程序的次数，循环次数的取值范围是 1～32767。NEXT 表示循环结束指令。图 5-44 所示为 FOR、NEXT 指令的应用格式和使用范围。




| K、H | KnX | KnY | KnM | KnS | T | C | D | V | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

图 5-44　FOR、NEXT 指令的应用格式和使用范围

循环指令在使用时需注意以下几点：

1）这两条指令无需控制条件，直接与左母线相连即可。

2）循环指令允许 5 级嵌套。

3）FOR 和 NEXT 必须成对使用。

图5-45所示为3级嵌套使用的循环指令，程序的功能是，当X1为OFF时，不执行跳转指令，则循环体执行C执行4次，循环体B执行4×5=20次，而循环体A则执行4×5×6=120次。当X1为ON时，则循环体A不执行。

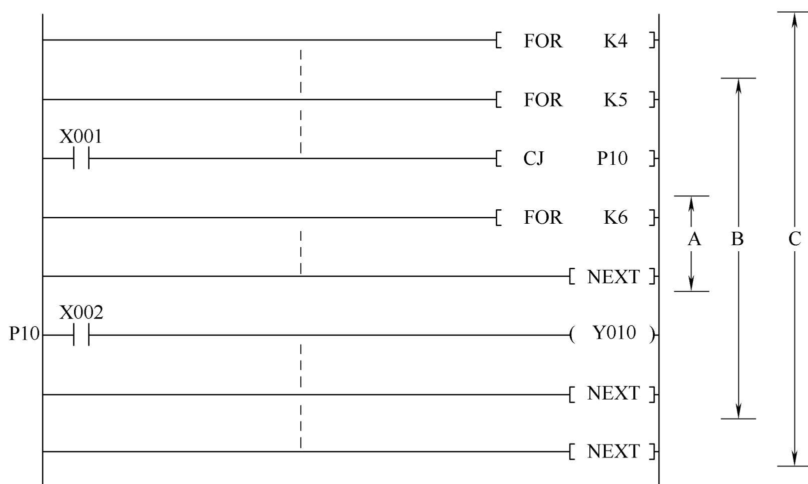



图5-45　3级嵌套循环指令的应用

**【名师点拨】　跳转与循环指令的应用**

用循环指令求和

用循环指令实现求1+2+3+…+100的和。

**梯形图：**

求和控制梯形图如图5-46所示。

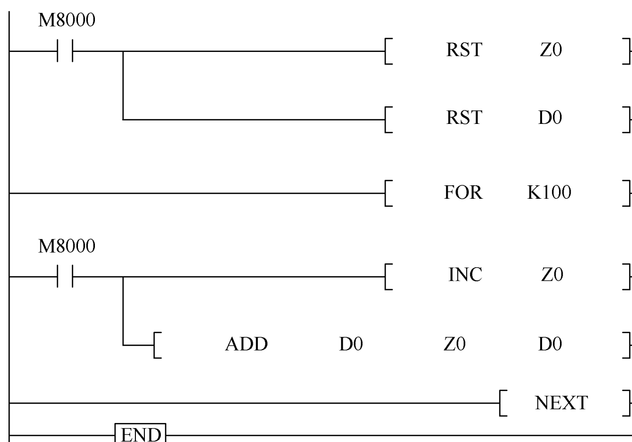



图5-46　循环指令求和梯形图

# 第八节　中断与子程序

## 一、中断与中断指针

在日常生活中，当我们正在做某项工作时，有一件更为重要的事情需要马上处理，这时就需要暂停正在做的工作，转去处理这一紧急事务，等处理完这一紧急事务后，再继续去完成刚才暂停的工作。

PLC 同样也有这样的工作方式，我们称之为中断。所谓中断，就是指在主程序的执行过程中，中断主程序去执行中断子程序，执行完中断子程序后再回到刚才中断的主程序处继续执行。

中断程序具有以下特点：

1）中断不受 PLC 扫描工作方式的影响，以使 PLC 能迅速响应中断事件。

2）中断子程序是为某些特定的控制功能而设定的。所以要求中断子程序的响应时间小于机器的扫描时间。

能引起中断的信号叫做中断源，FX2N 系列 PLC 共有三类中断源：外部中断、定时器中断和高速计数中断。

中断指针用 I 来表示，它是用来指明某一中断源的中断程序入口指针，当执行到 IRET（中断返回）指令时返回主程序。中断指针 I 应在 FEND（主程序结束指令）之后使用。

用于中断服务子程序的地址指针有 I0□□ ~ I8□□共 9 点。

1）当中断源为外部请求信号时，使用 I0□□ ~ I5□□共 6 点，且中断请求信号由输入端 X0 ~ X5 输入，并且要求信号脉冲的宽度大于 200μs。

2）当中断源是以一定时间间隔产生的内部中断信号时，使用 I6□□ ~ I8□□共 3 点。其分类如图 5-47 所示。

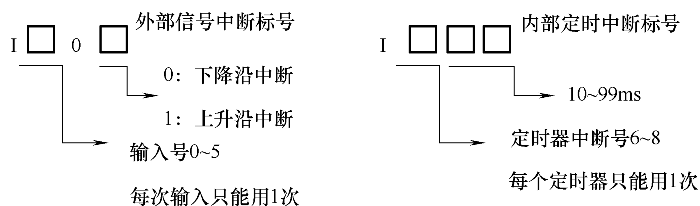



图 5-47　中断指针的分类

例如，I001 表示当输入 X0 从 OFF 变为 ON 时，执行由该指针作为标号的中断服务子程序，并根据 IRET 返回。I610 表示每隔 10ms 就执行标号为 I610 后面的中断服务子程序，并根据 IRET 返回。

## 二、EI、DI、IRET 指令

与中断有关的指令共有三个：EI、DI、IRET，其中 EI 是允许中断指令，DI 是禁止中断指令，IRET 是中断返回指令。图 5-48 所示为中断指令的使用格式。

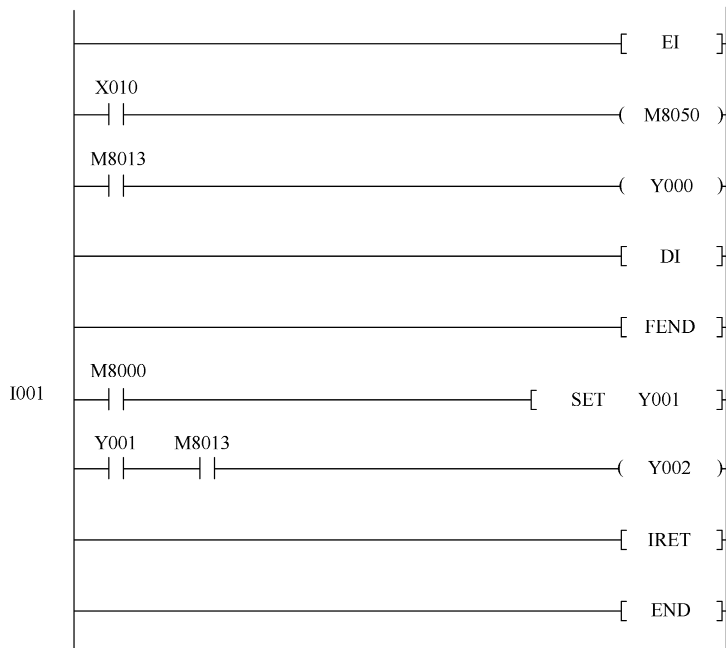



图 5-48 中断指令的使用格式

中断指令在使用时要注意以下情况：

1）三个指令既没有驱动条件，也没有操作数，在梯形图上直接与左、右母线相连。

2）中断程序放在 FEND 指令之后。

3）EI 到 DI 之间为允许中断区间，CPU 在扫描其梯形图时，若有中断请求信号产生则 CPU 停止扫描当前梯形图转而去执行中断指针 I□□□标号的中断服务子程序，直到 IRET 指令才返回到主程序继续执行。

4）如果中断请求发生在 EI 到 DI 区域之外，则该中断请求信号被锁存起来，直到 CPU 扫描到 EI 指令后才转而执行该中断服务子程序。

5）允许 2 级中断嵌套，并有优先权利处理能力。即当有多个中断请求同时发生时，中断标号越小的优先权级别越高。

另外，特殊辅助继电器 M805Δ 为 ON 时（Δ＝0～8），禁止执行相应的中断 IΔ□□。例如当 M8050 为 ON 时，禁止执行相应的中断 I000 和 I001。当 M8059 为 ON 时，关闭所有的计数器中断。

**【名师点拨】 中断与子程序的应用**

高精度定时控制

用定时中断实现周期为 10s 的高精度定时，定时时间到，指示灯亮。

分析：

使用中断指针 I650，表示每隔 50ms 执行一次中断程序，对 D0 加 1，当加到 D0＝

200 时对应的时间是 10s，再通过触点比较指令实现数据寄存器的复位和输出控制。

**梯形图：**

控制程序梯形图如图 5-49 所示。

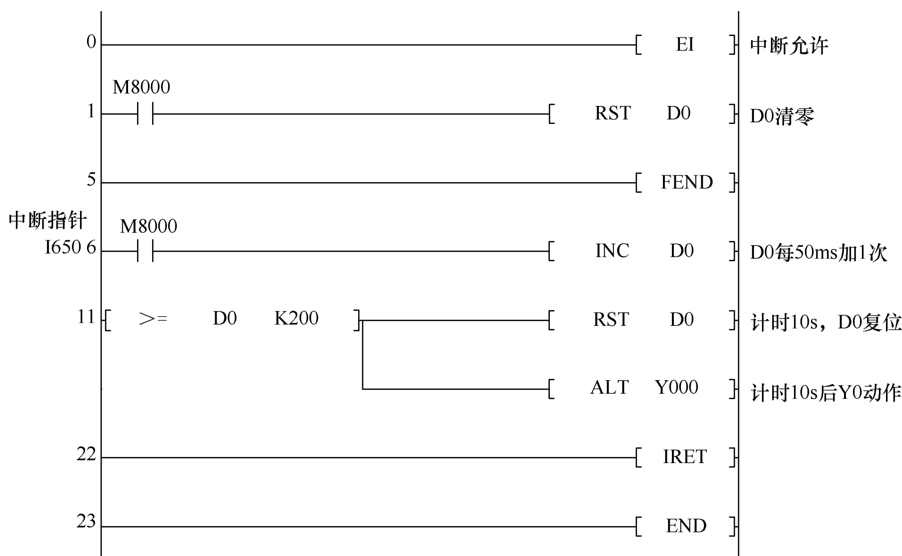



图 5-49　10s 高精度定时控制梯形图

# 第九节　高速处理类指令

## 一、REF、REFF 指令

REF 是 I/O 立即刷新指令，16 位操作指令为 REF、REF（P）。指令功能是将目标元件为首地址的连续 n 个元件状态刷新。目标元件只能是 X、Y，且首地址为 10 的倍数，n 为 8 的倍数。图 5-50 所示为 REF 指令的应用格式。

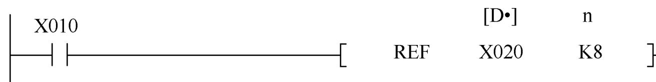



图 5-50　REF 指令的应用格式

REFF 是修改滤波时间常数和立即刷新高速输入指令，16 位操作指令为 REFF、REFF（P）。指令功能是立即刷新高速输入 X0 ~ X7，并修改其滤波时间常数。常数 n 表示数字滤波时间常数的设定值，其取值范围是 0 ~ 60ms，n = 0 时的实际设定值为 50μs。图 5-51 所示为 REFF 指令的应用格式。应注意的是，REFF 指令必须在程序运行时间内一直被驱动，否则 X0 ~ X7 输入滤波时间常数将被恢复至默认值 10ms。



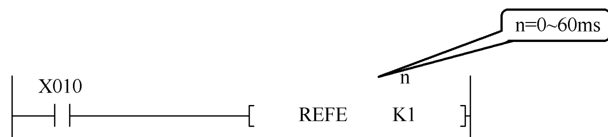



图 5-51 REFF 指令的应用格式

## 二、高速计数器

普通计数器的工作受扫描频率的限制，只能对低于扫描频率的信号计数。而在工业控制中，很多由其他物理量转化成的频率信号一般要高于扫描频率，有时能达到数千赫兹。例如，光电编码器可以将转速信号变换为脉冲信号，转速越高，单位时间内的脉冲数就越多，频率就越高。这时普通计数器已不能满足计数的需求，需要使用高速计数器。

FX2N 系列 PLC 设有 C235 ~ C255 共 21 点高速计数器，其分类如下：

1）一相无起动/复位端子：C235 ~ C240。

2）一相带起动/复位端子：C241 ~ C245。

3）一相双输入型：C246 ~ C250。

4）两相 A-B 相型：C251 ~ C255。

高速计数器均为 32 位增减计数器，表 5-8 所示为 FX2N 系列可编程高速计数器和各输入端之间的对应关系。

**表 5-8 FX2N 系列高速计数器**

| 计数器 \ 输入 | | X0 | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 一相无起动/复位端子 | C235 | U/D | | | | | | | |
| | C236 | | U/D | | | | | | |
| | C237 | | | U/D | | | | | |
| | C238 | | | | U/D | | | | |
| | C239 | | | | | U/D | | | |
| | C240 | | | | | | U/D | | |
| 一相带起动/复位端子 | C241 | U/D | R | | | | | | |
| | C242 | | | U/D | R | | | | |
| | C243 | | | | U/D | R | | | |
| | C244 | U/D | R | | | | | S | |
| | C245 | | | U/D | R | | | | S |
| 一相双输入型 | C246 | U | D | | | | | | |
| | C247 | U | D | R | | | | | |
| | C248 | | | | U | D | R | | |
| | C249 | U | D | R | | | | S | |
| | C250 | | | | U | D | R | | S |





（续）

| 计数器 \ 输入 | | X0 | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 两相 A-B 相型 | C251 | A | B | | | | | | |
| | C252 | A | B | R | | | | | |
| | C253 | | | | A | B | R | | |
| | C254 | A | B | R | | | | S | |
| | C255 | | | | A | B | R | | S |

注：U 表示增计数输入；D 表示减计数输入；A 表示 A 相输入；B 表示 B 相输入；R 表示复位输入；S 表示起动输入。

高速计数器的特点如下：

1）它们共享 8 个高速输入口 X0 ~ X7。

2）使用某个高速计数器时可能要同时使用多个输入口，而这些输入口又不能被多个高速计数器重复使用。

3）在实际应用中，最多只能由 6 个高速计数器同时工作。这样设置是为了使高速计数器能具有多种工作方式，以方便在各种控制工程中选用。

## 三、高速计数器的应用

1. 一相无起动/复位端子高速计数器的应用

一相无起动/复位端子高速计数器（C235 ~ C240）的计数方式及触点动作与普通的 32 位计数器相同：增计数时，当计数值达到设定值时，触点动作并保持；减计数时，当计数值达到设定值时则复位。其中计数方向取决于计数方向标志继电器 M8235 ~ M8240。

一相无起动/复位端子高速计数器的工作梯形图如图 5-52 所示，这类计数器只有一个脉冲输入端。例如，C235 的输入端为 X0。图 5-52 中，X10 是由程序安排的计数方向的选择信号，接通时为减计数，断开时为增计数（当程序中无辅助继电器 M8235 的相关程序时，默认为增计数）；X11 为复位信号，接通时，执行复位；X12 是由程序安排的 C235 的起动信号；Y10 为计数器 C235 控制的对象。

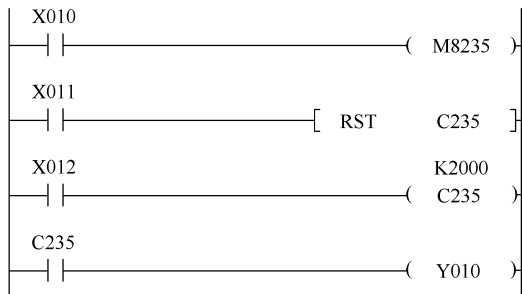



图 5-52　一相无起动/复位端子高速计数器的工作梯形图

2. 一相带起动/复位端子高速计数器的应用

一相带起动/复位端子高速计数器（C241～C245），这些计数器与一相无起动/复位端子高速计数器的区别是，增加了外部起动和外部复位的控制端子。其工作梯形图如图5-53所示。

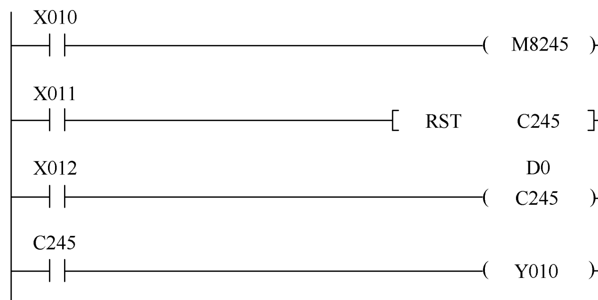



图5-53 一相带起动/复位端子高速计数器的工作梯形图

图5-53中，C245的计数输入端子为X2，系统起动信号输入端为X7，系统复位输入信号端为X3。X7上送入的外起动信号只有在X12接通，计数器C245被选中时才有效；X3和X11（用户程序复位）这两个信号则并行有效。

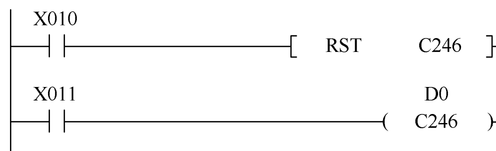



图5-54 一相双输入型高速计数器的工作梯形图

3. 一相双输入型高速计数器的应用

一相双输入型高速计数器（C246～C250），这类高速计数器有两个外部计数输入端子，一个端子上送入的计数脉冲为增计数，另一个端子上送入的为减计数。其工作梯形图如图5-54所示。对于C246，X0及X1分别为C246的增计数输入端及减计数输入端，C246的起动和复位是通过程序来实现的。

还有的一相双输入型高速计数器带有外复位及外起动端，如C250。X3和X4分别为C250的增计数输入端及减计数输入端。X7、X5分别为外起动及外复位端。

4. 两相A-B相型高速计数器的应用

两相A-B相型高速计数器（C251～C255），这些高速计数器的两个脉冲输入端子是同时工作的，外计数方向的控制方式由两相脉冲间的相位决定。

如图5-55，对于C251，X0、X1分别为A相、B相的输入端。当A相信号为1且B相信号为上升沿时为增计数，B相信号为下降沿时为减计数。

高速计数器是实现数值控制的一种元件，使用的目的是通过高速计数器的计数值控制其他元件的工作状态。高速计数器通常有以下两种使用方式：

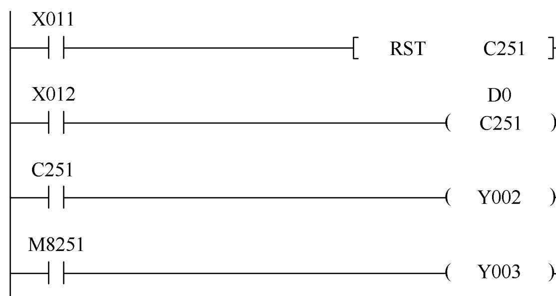



图 5-55 两相 A-B 相型高速计数器的工作梯形图

1）与普通计数器一样，通过计数器本身的触点在计数器达到设定值时动作并完成控制任务。这种工作方式要受扫描周期的影响，从计数器计数值达到设定值至输出动作的时间有可能大于一个扫描周期，这会影响高速计数器的计数准确性。

2）直接使用高速计数器工作指令，这种指令以中断方式工作，在计数器达到设定值时立即驱动相关的输出动作。

## 四、HSCS、HSCR 指令

1. HSCS

HSCS 是高速计数器置位指令，其应用格式和使用范围如图 5-56 所示。

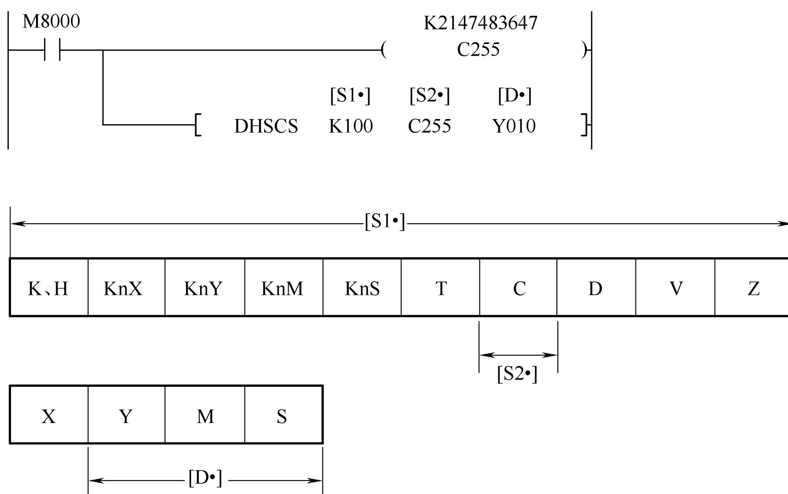



图 5-56 HSCS 指令的应用格式和使用范围

当 C255 的当前值由 99 ⟶100 或由 101 ⟶100 时，Y10 立即置位。

2. HSCR

HSCR 是高速计数器复位指令，其使用格式和使用范围如图 5-57 所示。

当 C255 的当前值由 99 ⟶100 或由 101 ⟶100 时，Y10 立即复位。

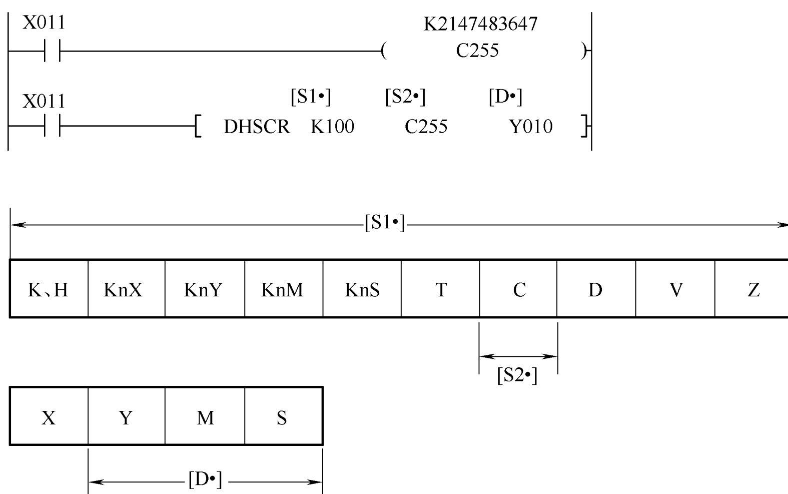



图 5-57 HSCR 指令的应用格式和使用范围

## 五、SPD 指令

SPD 是速度检测指令，16 位操作有 SPD、SPD（P）。指令功能是在源操作数 S2 设定的时间内（ms），对源操作数 S1 输入的脉冲进行计数，计数的当前值存放在目标元件 D + 1 中，终值存放在目标元件中 D，当前计数的剩余时间（ms）存放在目标元件 D + 2 中。SPD 指令的应用格式和使用范围如图 5-58 所示。

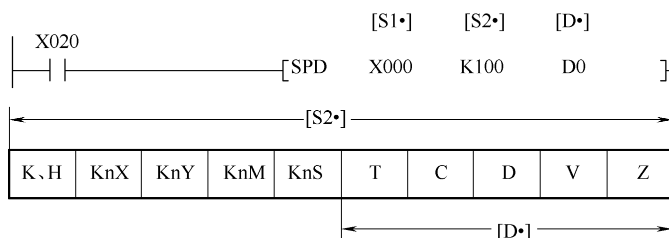



图 5-58 SPD 指令的应用格式和使用范围

SPD 指令采用高速计数和中断处理方式，计数脉冲从高速输入端 X0 ~ X5 输入，当执行该指令时，目标元件 D + 1 存放计数当前值，计数时间结束后，当前值立即写入目标元件 D 中，D + 1 的当前值复位并开始下一次对 S1 输入脉冲进行计数。根据 S2 设定时间，可以采用以下公式来计算线速度：

$$V = \frac{3600 \times D}{n \times S2} \times 10^3 \qquad N = \frac{60 \times D}{n \times S2} \times 10^3$$

式中，D 为目标元件存放的脉冲计数的终值；n 为编码器每千米或每圈产生的脉冲数。

【名师点拨】 高速计数器的应用

如图5-59所示，当计数器的当前值等于设定值时，C235的触点接通，Y10被置位。使用触点比较指令当C235的当前值大于等于10时，Y11置位。在这个程序里，Y10和Y11都是按照程序扫描输出，输出反应没有使用HSCS指令动作反应快。

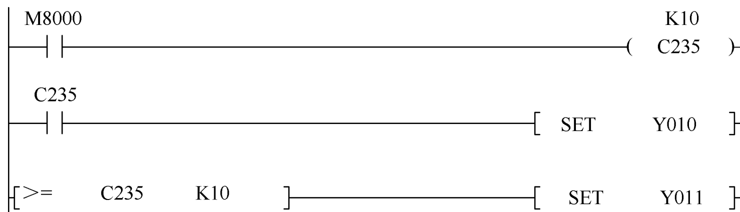



图5-59 高速计数器的扫描输出

在图5-60中，如果X0不输入脉冲，只是通过MOV指令传送高速计数器的当前值。当X10接通，虽然C235的当前值是10，但是Y10没有输出。要想让Y10立刻输出，必须是C235在高速计数状态，并且其当前值为10时才能使Y10立刻动作。

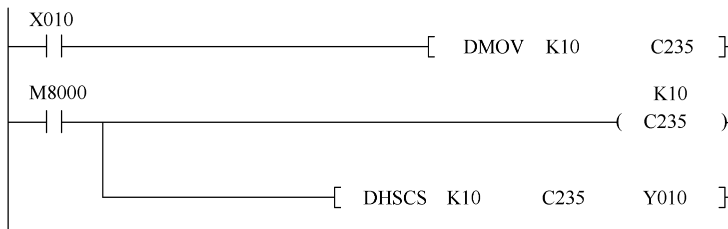



图5-60 利用MOV指令改变高速计数器的当前值

在图5-61中，当X0输入脉冲时，C241高速计数；当接通X10时，C241的当前值会复位，但是Y10不会接通。而当X0输入脉冲时，C241高速计数，当接通C241的外部复位端子X1时，C241的当前值被复位，所以Y10会立刻被置位

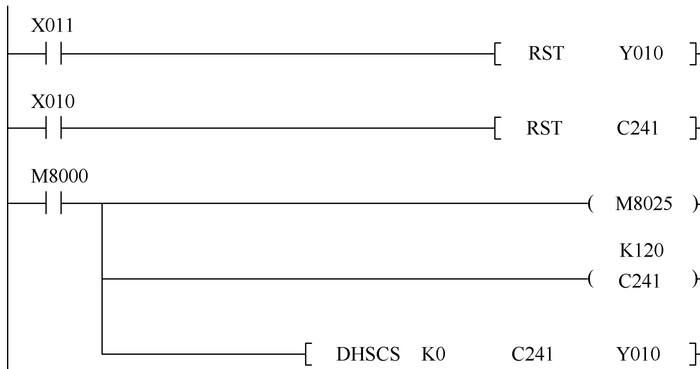



图5-61 高速计数器的复位模式



# 第十节　脉冲输出指令

步进电动机是一种非常精密的动力装置，它可以将脉冲信号变换成相应的角位移（或直线线位移）。当有脉冲输入时，步进电动机一步一步地转动，每给它一个脉冲信号，它就会转过一定的角度。步进电动机的角位移量和输入脉冲的个数严格成正比，在输入时间上与输入脉冲同步，因此只要控制输入脉冲的数量、频率及电动机绕组通电的相序，便可获得所需的转角、转速及转动方向。在没有脉冲输入时，它处于定位状态。步进电动机在大多数的应用中，可以通过 PLC 的脉冲实现精确定位。例如，在自动化生产线中，物料的分层存放等，就可以通过步进电动机来确定其准确的位置。

## 一、PLSY 指令

PLSY 是脉冲输出指令，指令的应用格式如图 5-62 所示。其功能是条件满足时，以［S1・］的频率送出［S2・］个脉冲达到［D・］。我们所选用的 FX2N 系列 PLC 中，只有 Y0、Y1 可以作为高速脉冲输出端，并且它的最高输出频率为 1000kHz。

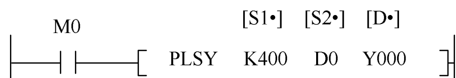



图 5-62　PLSY 指令的应用格式

## 二、PLSR 指令

PLSR 是带加减速功能的定脉冲数脉冲输出指令。其功能是针对指定的最高频率进行定加速，在达到所指定的输出脉冲数后，进行定减速。其应用格式如图 5-63 所示。

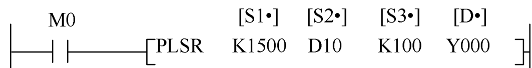



图 5-63　PLSR 指令的应用格式

式中［S1・］是指定的最高输出频率（Hz），其值只能是 10 的倍数，范围是 10～20kHz，［S1・］可以是 T、C、D 或者是位组合元件。图 5-63 中最高频率是 1500Hz。

［S2・］是指定的输出脉冲数，数值是 110～2124483647，脉冲数小于 110 时，脉冲不能正常输出，［S2・］可以是 T、C、D 或者是位组合元件。图 5-63 中输出脉冲数是 D10 里的数值。

［S3・］是指定的加减速时间，设定范围是 5000ms 以下，［S3・］可以是 T、C、D 或者是位组合元件。

［D・］是指定的脉冲输出端子，［D・］只能是 Y0 或者 Y1。

PLSR 指令的使用说明如下：

1）当驱动点断开时输出会立刻不减速地中断。这是本指令的缺点，如果在最高频率时中断驱动，会使外部执行元件紧急停止，对机械结构容易造成损伤。

2）当三个源操作数改变后，指令不会立刻按新的数据执行，而是要等到下一次驱动指令由断开到闭合时才生效。

**【名师点拨】 脉冲输出指令的应用**

PLC 控制步进电动机的运行

X0 接通一次，步进电动机以 400Hz 的频率正转 3 圈；X1 接通一次，步进电动机以 400Hz 的频率反转 3 圈；X2 接通一次，电动机停止转动。

分析：

我们选择步进电动机的步距角为 0.225°，即表示步进电动机转动一圈需要 1600 个脉冲，因此转 3 圈需要 4800 个脉冲。我们通过 Y0 来控制脉冲输出，用 Y2 来控制转动方向。

I/O 分配表：

根据对控制要求分析，进行 I/O 分配如表 5-9 所示。

**表 5-9 I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 正起动按钮 | SB1 | X0 | Y0 | 计数脉冲输出 | |
| 反起动按钮 | SB2 | X1 | Y2 | 方向脉冲 | 方向控制 |
| 停止按钮 | SB3 | X2 | | | |

梯形图：

PLC 控制步进电动机运行的梯形图如图 5-64 所示。

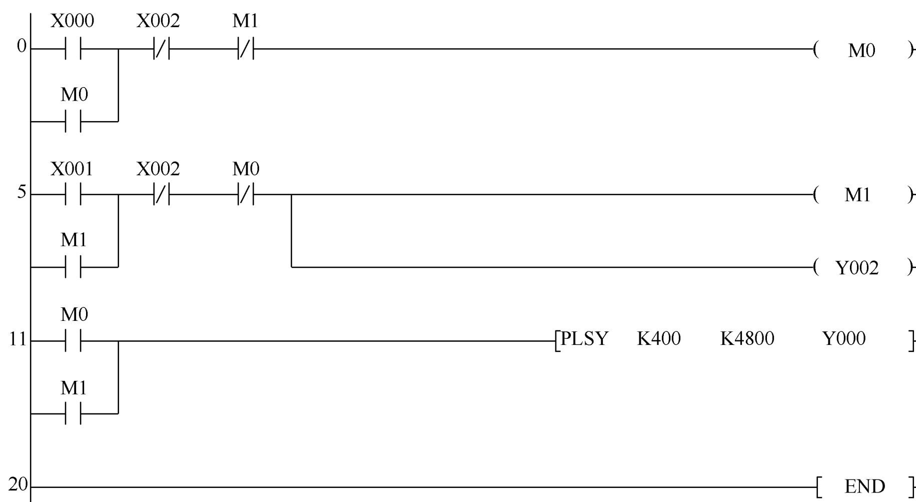



图 5-64 PLC 控制步进电动机运行的梯形图

# 第六章

# PLC 的模拟量控制

## 第一节　模拟量控制基础知识

### 一、模拟量与数字量

1. 模拟量

在时间上或数值上都是连续变化的物理量称为模拟量。把表示模拟量的信号叫做模拟信号，例如在工业中常见的模拟量信号有压力、流量、温度、速度、电压和电流等。

2. 数字量

在时间上和数量上都是离散的物理量称为数字量（也称为开关量）。把表示数字量的信号叫做数字信号。在数字量中，只有两种状态，相当于开和关的状态，如果把开用“1”表示，关用“0”表示，则正好与二进制的“1”和“0”相对应起来。因此，可以把由二进制数所表示的量称为数字量。

### 二、PLC 模拟量控制系统

1. PLC 模拟量控制系统组成

PLC 本身是一个数字控制设备，只能处理开关信号的逻辑关系的开关量，不能直接处理模拟量。如果要进行模拟量控制，可由 PLC 的基本单元加上模拟量输入/输出扩展单元来实现。即由 PLC 自动采样来自检测元件或变送器的模拟输入信号，同时将采样的信号转换为数字量，存到指定的数据寄存器中，经过 PLC 对这些数字量的运算处理来进行模拟量控制。同样，经过 PLC 处理的数字量也不能直接送去控制电器执行元件，必须把数字量转换为模拟量后才能控制电器执行元件的动作。图 6-1 所示为 PLC 模拟量控制系统组成框图。

2. PLC 模拟量输入与输出方式

（1）PLC 的模拟量输入方式

目前大部分 PLC 的模拟量输入是采用模拟量输入转换模块（A-D）进行的。用模拟量输入模块进行模拟量输入，首先把模拟量通过相应的传感器和变送器转换成标准的电压（0～10V 或-10～10V）和电流（0～20mA 或 4～20mA）才能接入到输入模块通道。

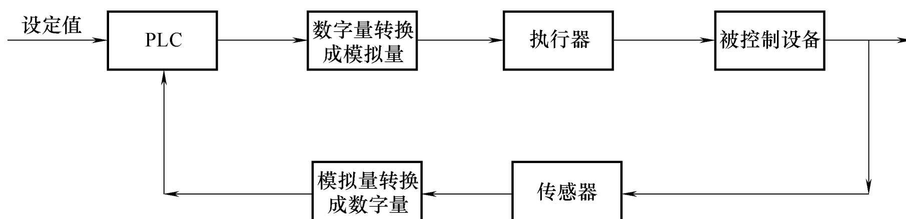



图 6-1　PLC 模拟量控制系统组成框图

（2）PLC 的模拟量输出方式

在 PLC 的模拟量输出控制方面，主要采用模拟量输出转换模块（D-A）进行控制。一般 D-A 模块具有两路以上通道，可以同时输出两个以上的模拟量来控制执行器。在很多情况下，模拟量输出还可以输出占空比可调的脉冲序列信号。

## 三、特殊模块读/写指令

我们先来认识一下模拟量输入/输出的流程示意图，如图 6-2 所示。

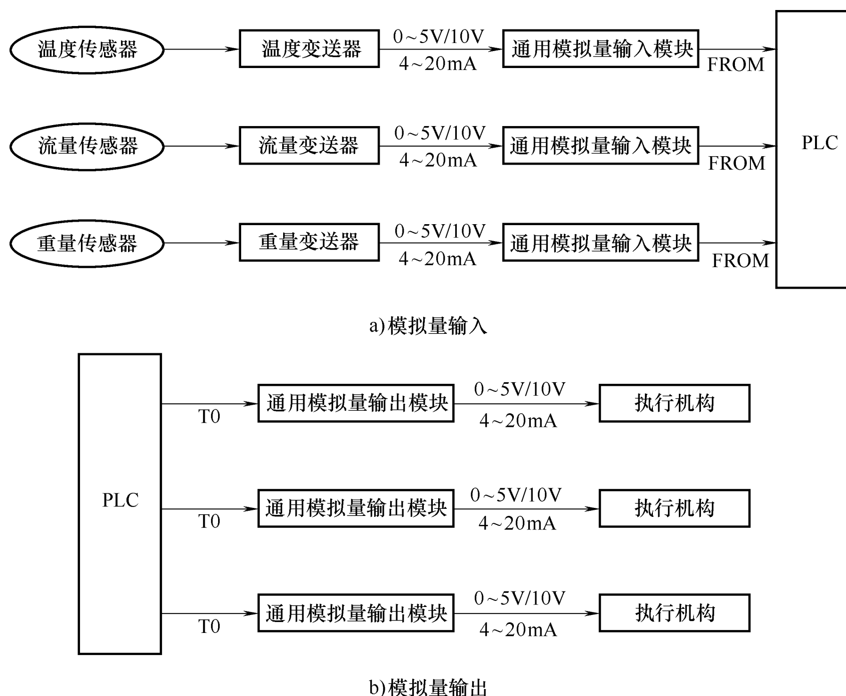



图 6-2　模拟量输入/输出流程示意图

使用 FROM、TO 指令可以实现模拟量模块与 PLC 之间的数据传输。FROM 与 TO 指令的应用格式和使用范围如图 6-3 所示。

FROM 是读指令，其功能是将指定的 m1 模块号中的第 m2 个缓冲存储器开始的连续 n 个数据读到指定目标［D·］开始的连续 n 个字中。



TO 是写指令，其功能是将［S·］指定地址开始的连续 n 个字的数据，写到 m1 指定的模块号中第 m2 个缓冲存储器开始的连续 n 个字中。




| K、H | KnX | KnY | KnM | KnS | T | C | D | V | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

图 6-3　FROM、TO 指令的应用格式和使用范围

# 第二节　模拟量输入模块 FX2N-2AD 的应用

## 一、FX2N-2AD 介绍

FX2N-2AD 模块是一种 2 通道、12 位高精度的 A-D 转换输入模块，如图 6-4 所示。它的功能是将在一定范围内变化的电压或电流输入信号转换成相应的数字量供给 PLC 主机读取。FX2N-2AD 可用于连接 FX0N、FX2N 和 FX2NC 系列的程序控制系统。

1. FX2N-2AD 的功能

1）模拟值的设定可以通过 2 个通道的输入电压或输入电流来完成。

2）这两个通道的模拟输入值可以接收 DC0～10V、DC0～5V 或者 4～20mA 信号。

3）模拟量输入值是可调的，该模块能自动分配 8 个 I/O（输入/输出）。

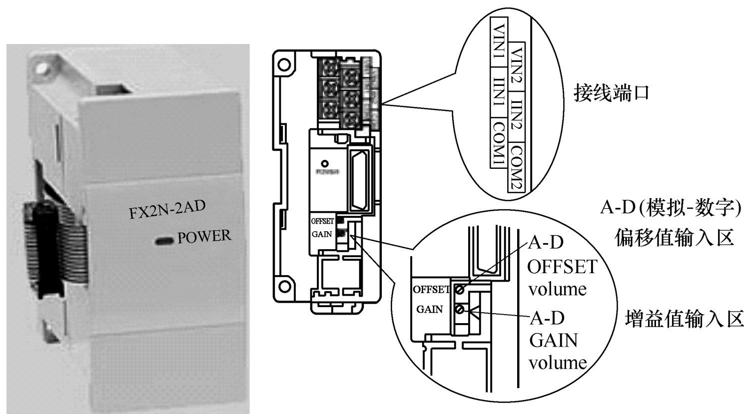



图 6-4　FX2N-2AD 模拟量输入模块

2. FX2N-2AD 模拟量输入模块性能（见表 6-1）。

**表 6-1　FX2N-2AD 模拟量输入模块性能表**

| 项　　目 | 输入电压 | 输入电流 |
|---|---|---|
| 模拟量输入范围 | DC 0～10V，DC 0～5V，输入电阻为 200kΩ，绝对最大量程为 DC -0.5V 和 +15V | 4～20mA，输入电阻为 250Ω，绝对最大量程为 -2mA 和 +60mA |
| 数字输出 | 12 位（0～4000） | |
| 分辨率 | 2.5mV（10V/4000），1.25mV（5V/4000） | 4μA {（20～4）mA/4000} |
| 总体精度 | ±1%（满量程 0～10V） | ±1%（满量程 0～20mA） |
| 转换速度 | 2.5ms/通道（顺控程序和同步） | |
| 隔离 | 在模拟和数字电路之间光电隔离，DC-DC 变压器隔离主单元电源，在模拟通道之间没有隔离 | |
| 电源规格 | DC 5V、20mA（主单元提供的内部电源），DC 24（1±10%）V、50mA（主单元提供的内部电源） | |
| 占用的 I/O 点数 | 这个模块占用 8 个输入或输出点（输入或输出均可） | |
| 适用的控制器 | FX1N/FX2N/FX2NC（需要 FX2NC-CNV-IF） | |
| 尺寸（宽×高×厚） | 43mm×87mm×90mm（1.69in×3.43in×3.54in） | |
| 重量 | 0.2kg（0.44lb） | |

## 二、接线与标定

1. FX2N-2AD 的接线（见图 6-5）。

接线说明：

1）FX2N-2AD 不能有一个通道输入模拟电压值而另一个通道输入电流值，因为两个通道不能使用同样的偏移值和增益值。

2）对于电流输入，应按照如图 6-5 所示短接 VIN1 和 IIN1。

3）当电压输入存在电压波动时，连接一个 0.1～0.47 μF/DC25V 的电容器，如图 6-5 所示。

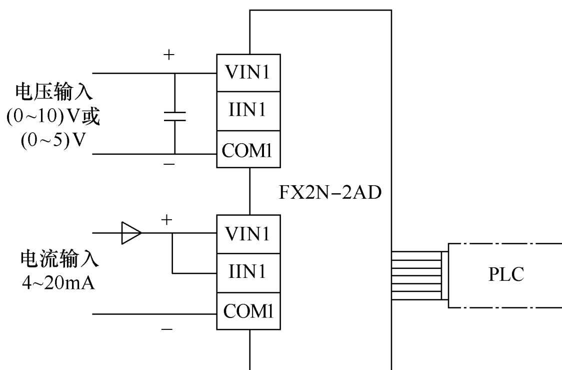



图 6-5　FX2N-2AD 的接线

4）一个 PLC 的基本单元最多可连接 8 个特殊功能模块，如图 6-6 所示。多个特殊模块相连接时，PLC 的特殊模块的位置是由特定的位置编号的。编号原则是从基本单元最近的模块算起，有近到远分别是 0#、1#、…、7#，如图 6-6 所示。

2. FX2N-2AD 的标定

在模拟量控制中，当模拟量转换成数字量后，数字量和模拟量之间存在一定对应关

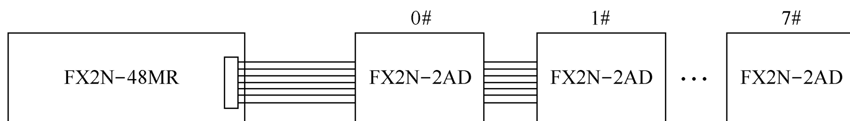



图 6-6　8 个特殊功能模块连接

系，这种对应关系称为标定。同样当数字量转换成模拟量后，它们之间的对应关系也称为标定。标定一般用函数关系曲线和表格来表示，表 6-2 所示为 FX2N-2AD 的标定。

**表 6-2　FX2N-2AD 的标定**

| 类　　别 | 输 入 电 压 | 输 入 电 流 |
|---|---|---|
| 输入特性 | 模拟值：0 ~ 10V<br>数字值：0 ~ 4000<br>4095<br>4000<br>数字值<br>10.238V<br>0<br>10V<br>模拟值 | 模拟值：0 ~ 20mA<br>数字值：0 ~ 4000<br>4095<br>4000<br>数字值<br>20.380mA<br>0<br>4mA<br>20mA<br>模拟值 |

## 三、缓冲存储器 BFM 的功能分配

缓冲存储器 BFM 是 PLC 与外部模拟量进行信息交换的中间单元。输入时，由模拟量输入模块将外部模拟量转换成数字量后先暂存在 BFM 内，再由 PLC 进行读取，送入 PLC 的字元件进行处理。输出时，PLC 将数字量送入输出模块的 BFM 内，再由输出模块自动转换成模拟量送入外部控制器中。FX2N-2AD 模块的缓冲存储器各单元功能分配如表 6-3 所示。

**表 6-3　缓冲存储器各单元的功能**

| BFM 数据 | 15 位 ~ 8 位 | 7 位 ~ 4 位 | 3 位 | 2 位 | 1 位 | 0 位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| #0 | 保留 | 输入电流值（附属的 8 位数值） | | | | |
| #1 | 保留 | | 输入电流值（高阶 4 位数值） | | | |
| #2 ~ #16 | 保留 | | | | | |
| #17 | 保留 | | | | 模拟值到数字值的转换开始 | 模拟值到数字值的转换通道 |
| #18 或以上 | 保留 | | | | | |

缓冲存储器应用说明如下：

1）当 FX2N-2AD 模块采样到的模拟量被转换成 12 位数字量后，被 PLC 读入到一个数据存储器中。数字量的低 8 位当前值，以二进制形式存储在 BFM#0 的低 8 位中。数字量的高 4 位当前值，则以二进制形式存储在 BFM#1 的低 4 位。

2）缓冲存储器 BFM#17 在使用中有两个功能选择。一是设置通道字；二是表示模数

转换开始。BFM#17 的第 0 位指定模拟到数字转换的通道是 CH1 或 CH2。当第 0 位等于 0 时，通道设置为 CH1；当第 0 位等于 1 时，通道设置为 CH2。

**【名师点拨】 如何使用 FX2N-2AD 模拟量输入模块**

当 BFM#17 的第 1 位设置为 1 时，表示模拟值/数字值的转换程序开始执行。

下面通过编制一段程序来学习 FX2N-2AD 模拟量输入模块的使用。

步骤一：PLC 与 FX2N-2AD 接线，如图 6-7 所示。

1）连接扩展电缆到 PLC 主机，当电源指示灯点亮，说明扩展电缆正确连接；指示灯灭或闪烁，则需要检查扩展电缆连接是否正常。

2）把 0～10V 的模拟电压接入 FX2N-2AD 的电压端子上（注：FX2N-2AD 的标定出厂时为 0～10V 电压输入，其对应的数字量为 0～4000，现在接入一个 0～10V 的电压输入，模块就不需要标定调整，如果接入的是 0～5V 电压或作为电流输入就必须对标定进行调整，具体调整方法可参考本节【知识拓展】）。

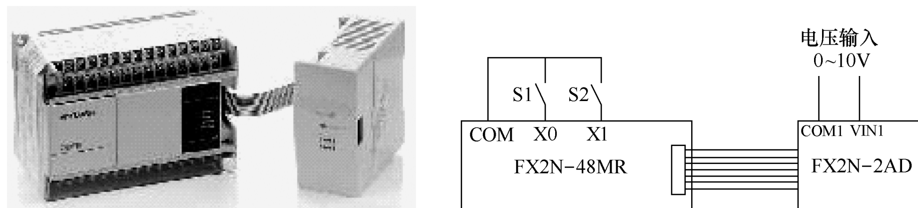



图 6-7 PLC 与 FX2N-2AD 接线

步骤二：编制程序。

1）确定 FX2N-2AD 的编号为 0#。

2）分配 FX2N-2AD 的缓冲存储器。FX2N-2AD 模块的设置是对 BFM#0 和 BFM#17 两个存储单元进行设置。

3）编制通道选择程序。本例的模拟输入通道选择为 CH1，程序如图 6-8 所示。

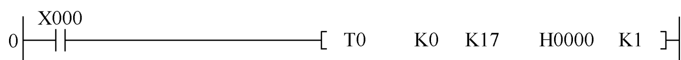



图 6-8 编制通道选择程序

程序解释：当 X0 接通时，把 PLC 中十六进制数 H0000 写入到 0#模块的 BFM#17 单元中，此时 BFM#17 单元中的第 0 位设置为“0”时，则表示模拟量从通道 CH1 输入。

4）编制模拟值/数字值的转换开始执行程序，如图 6-9 所示。

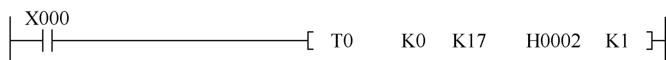



图 6-9 编制模拟值/数字值的转换开始执行程序



**程序解释：** 当 X0 接通时，把 PLC 中十六进制数 H0002 写入到 0#模块的 BFM#17 单元中，当 BFM#17 的第 1 位设置为“1”时，则表示模拟值/数字值的转换程序开始执行。

5）编制 CH1 通道采样数据并存储到 D100 中的程序，如图 6-10 所示。

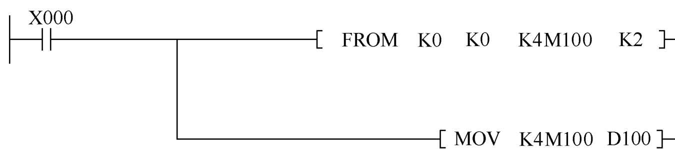



图 6-10 编制 CH1 通道采样数据并存储到 D100 中的程序

**程序解释：** 当 X0 接通时，PLC 把 0#模块 BFM#0 开始的 2 个数据读入到 PLC 中控制 M100 ~ M111 继电器的状态，低 8 位送 M100 ~ M107，高 4 位送 M108 ~ M111。通过传送指令 MOV 把 K4M100 的数据存到数据寄存器 D100 中。

6）合并优化程序，如图 6-11 所示。

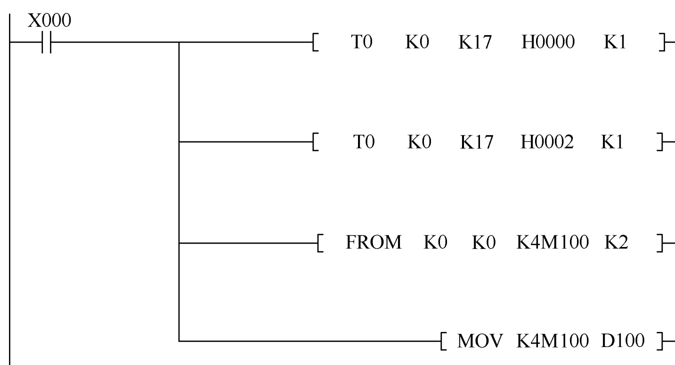



图 6-11 合并优化程序

**【知识拓展】 FX2N-2AD 模块的标定调整方法**

FX2N-2AD 模拟量输入模块在出厂时标准规定为 0 ~ 10V 的电压输入，其对应的数字量为 0 ~ 4000。当模块的输入为 0 ~ 5V 或为电流输入时，就必须对其所对应的数字量之间的关系进行调整。FX2N-2AD 模块的调整方法是通过面板上的外部零点调节器和增益调节器来重新设置零点值和增益值。下面以标定 0 ~ 5V 电压输入为例学习具体的调整方法。

**步骤一：接线。**

按图 6-12 所示进行接线。在实际调节时，先按图 6-12 所示的连接在模块的端口接入一个电压，并且连接 PLC 及装有编程软件的计算机。

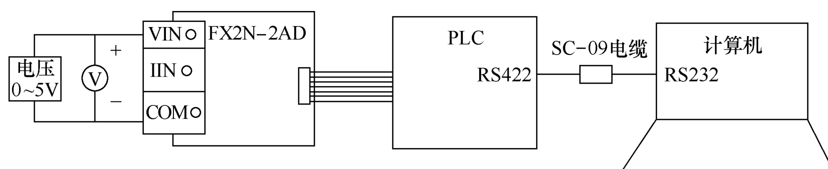



图 6-12　零点增益调整接线图

步骤二：编制模拟量输入读取程序。

在 PLC 内部编制模拟量输入读取程序如图 6-10 所示，将模拟量转化后的数字量读入 PLC 的数据寄存器 D100 中。

步骤三：增益调整。

1）调整电源电压使电压表的读数为 5V。

2）打开编程软件监视数据存储器 D100 的内容。

3）转动增益调节器（顺时针转动数字增大），使 D100 的数值为 4000。

步骤四：零点调整。

1）调整电源电压使电压表的读数为 100mV。

2）转动零点调节器，使 D100 的数值为 80。D100 的数值按正比例关系确定，即 4000/5V = D100/100mV

步骤五：反复调整增益与零点值。

1）当完成零点调整后，会使原来的增益调整值发生一些变化。因此，需要反复按照先调增益后调零点值的顺序进行调整，直到获得稳定的数值。

2）如果读不到一个稳定的数值，可在程序中加入数字滤波程序来调整增益和零点值。

# 第三节　模拟量输入模块 FX2N-4AD 的应用

## 一、FX2N-4AD 介绍

模拟量输入模块 FX2N-4AD 的外形如图 6-13 所示，该模块有 4 个输入通道，12 位高精度的 A-D 转换输入模块。其分辨率为 12 位。它的功能是将在一定范围内变化的电压或电流输入信号转换成相应的数字量供给 PLC 主机读取。FX2N-4AD 可用于连接 FX1N、FX2N、FX2NC 和 FX3U 等系列的程序控制系统。




图 6-13　FX2N-4AD 外形图

1. FX2N-4AD 功能

1）模拟值的设定可以通过四个通道的输入电压或输入电流来完成。

2）这四个通道的模拟输入值可以接受 DC ±10V（分辨率为 5mV）或 4～20mA、－20～20mA。

3）模拟量输入值是可调的，该模块 FX2N-4AD 占用 8 个 I/O。

2. FX2N-4AD 模拟量输入模块性能（见表 6-4）

**表 6-4　FX2N-4AD 模拟量输入模块性能表**

| 项　　目 | 电 压 输 入 | 电 流 输 入 |
|---|---|---|
| | 电压或电流输入的选择基于对输入端子的选择，一次可同时使用 4 个输入点 | |
| 模拟输入范围 | DC-10～10V（输入阻抗：200kΩ）<br>注意：如果输入电压超过 ±15V，单元会被损坏 | DC-20～20mA（输入阻抗：250Ω）<br>注意：如果输入电流超过 ±32mA，单元会被损坏 |
| 数字输出 | 12 位的转换结果以 16 位二进制补码方式存储<br>最大值：+2047，最小值：－2048 | |
| 分辨率 | 5mV（10V 默认范围：1/2000） | 20μA（20mA 默认范围：1/1000） |
| 总体精度 | ±1%（对于－10～10V 的范围） | ±1%（对于－20～20mA 的范围） |
| 转换速度 | 15ms/通道（常速），6ms/通道（高速） | |

## 二、接线与标定

1. FX2N-4AD 的接线（见图 6-14）。

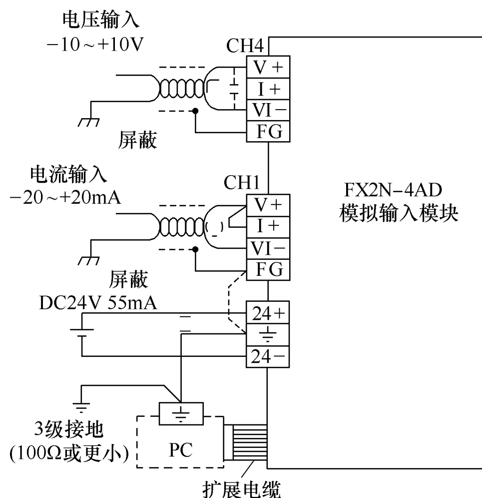



图 6-14　FX2N-4AD 的接线

接线说明：

1）模拟量输入通过双绞线屏蔽电缆来接收，电缆应远离电源线或其他可能产生电气

干扰的线缆。

2）当电压输入存在电压波动时，连接一个 0.1 ~ 0.47μF /DC25V 的电容器，如图 6 -14 所示。

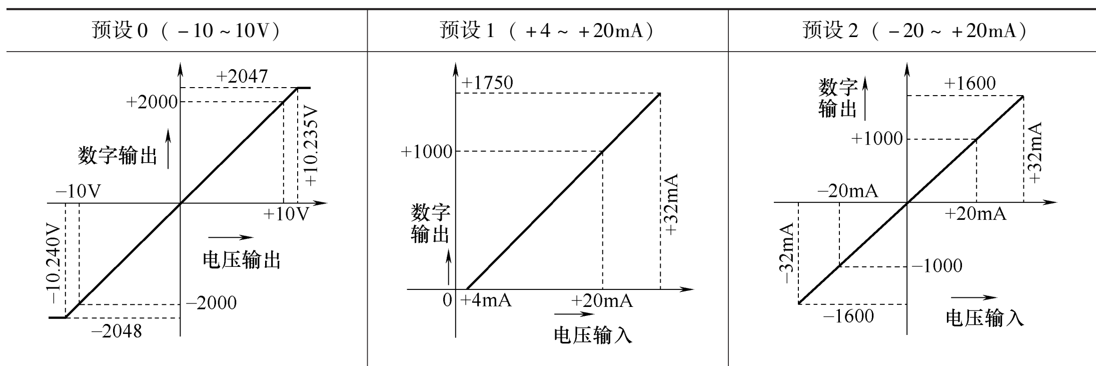
3）如果存在过多的电气干扰，应连接 FG 的外壳地端和 FX2N-4AD 的地端。

4）FX2N-4AD 模块需要外接 24V 直流电源，上下波动不要超过 2.4V，电流为 55mA。

2. FX2N-4AD 的标定

FX2N-4AD 模块有三种模拟量输入标准：DC －10 ~ ＋10V、4 ~20mA 或 －20 ~20mA，如表 6-5 所示。四个通道各输入何种标准，由通道字缓冲存储器内容确定。

**表 6-5　FX2N-4AD 模拟量输入标定**




## 三、缓冲存储器 BFM 的功能分配

FX2N-4AD 模拟量输入模块共有 32 个 BFM 缓冲存储器，编号为 BFM#0 ~ BFM#31，各缓冲存储器中的单元功能分配如表 6-6 所示。

**表 6-6　缓冲存储器各单元的功能**

| BFM | 内　容 | |
|---|---|---|
| #0 | 通道初始化，默认值 = H0000 | |
| #1 | 通道 1 | 包含采样数（1 ~4096），用于得到平均结果。默认值设为 8（正常速度），高速操作可选择 1 |
| #2 | 通道 2 | |
| #3 | 通道 3 | |
| #4 | 通道 4 | |
| #5 | 通道 1 | 这些缓冲区包含采样数的平均输入值，这些采样数是分别输入在#1 ~ #4 缓冲区中的通道数据 |
| #6 | 通道 2 | |
| #7 | 通道 3 | |
| #8 | 通道 4 | |
| #9 | 通道 1 | 这些缓冲区包含每个输入通道读入的当前值 |
| #10 | 通道 2 | |
| #11 | 通道 3 | |
| #12 | 通道 4 | |

（续）

| BFM | 内　　容 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| #13、#14 | 保留 | | | | | | | | |
| #15 | 选择 A-D 转换速度 | 如设为 0，则选择正常速度，15ms/通道（默认） | | | | | | | |
| | | 如设为 1，则选择高速，6ms/通道 | | | | | | | |
| #16 ~ #19 | 保留 | | | | | | | | |
| * #20 | 复位到默认值和预设。默认值 = 0 | | | | | | | | |
| * #21 | 禁止调整偏移、增益值。默认值 = (0,1) 允许 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
| * #22 | 偏移，增益调整 | G4 | O4 | G3 | O3 | G2 | O2 | G1 | O1 |
| * #23 | 偏移值 | 默认值 = 0 | | | | | | | |
| * #24 | 增益值 | 默认值 = 5000 | | | | | | | |
| #25 ~ #28 | 保留 | | | | | | | | |
| #29 | 错误状态 | | | | | | | | |
| #30 | 识别码 K2010 | | | | | | | | |
| #31 | 禁用 | | | | | | | | |

FX2N-4AD 模拟量的功能是通过 BFM 缓冲存储器的各个单元内容来设置完成的，下面具体介绍一下各缓冲存储器的功能。

1. FX2N-4AD 模块的初始化

FX2N-4AD 模拟量输入模块在应用前必须对通道字、采样字和速度字的 BFM 缓冲存储器内容进行设置，这三个字的设置称为模块的初始化。

（1）通道字缓冲存储器 BFM#0——模拟量输入通道选择

模拟量输入通道的选择是由 BFM#0 的内容所决定的，设置 BFM#0 为 4 位十六进制数 HOOOO 控制，每一位代表输入控制通道，而每一位的数字都代表输入模拟量的类型如图 6-15 所示。图中数值 O 可设置成数字 0、1、2 和 3，具体所表示的输入模拟量含义是，数字“0”表示 DC -10 ~ +10V 模拟量输入；数字“1”表示 4 ~ 20mA 模拟量输入；数字“2”表示 -20 ~ 20mA 模拟量输入；数字“3”表示通道关闭。通常出厂时设置为 H0000，即所有均设置为通道 DC -10 ~ +10V 模拟量输入。

例如，试说明通道字 H3201 的含义，如图 6-16 所示。

（2）采样字缓冲存储器 BFM#1 ~ BFM#4——平均值采样次数选择

模拟量输入时，时常会在被测信号上混杂着一些干扰信号，为了滤除这些干扰信号而采用一种平均值滤波方式。所谓平均值滤波是对多次采样的数值相加并进行算术平均值处理后，作为一次采样值送入由 PLC 读取的 BFM 中。

FX2N-4AD 采样字有 4 个，即 BFM#1 ~ BFM#4，分别对应通道 CH1 ~ CH4，其取值范围是 1 ~ 4096，一般取值为 4、6、8 就足够了，出厂值为 8。

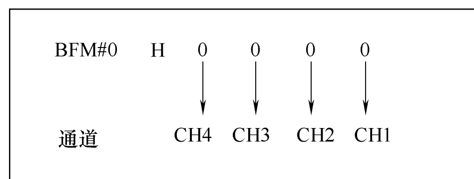



图 6-15 模拟量输入通道类型

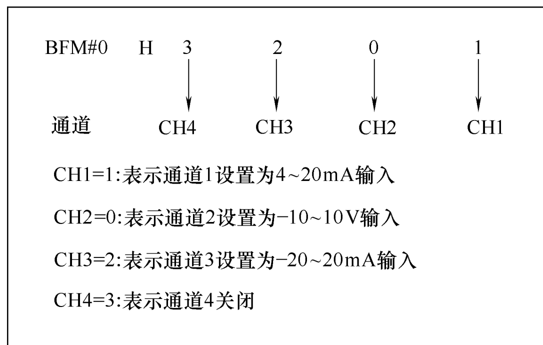



图 6-16 通道字 H3201 的含义解释

例如，编制一段程序编号为#0 的模块是 FX2N-4AD，对通道 1 写入采样字为 4，其余通道关闭。程序如图 6-17 所示。

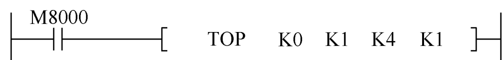



图 6-17 通道采样次数程序

程序解释：将采样字 4（采样 4 次的平均值）写入到#0 模块的 CH1 通道中，对 BFM#1 设置为 4。其余通道仍为出厂值 8，如果不用，则必须在通道字中将其关闭。如果控制要求每个通道字的采样值都不一样，那就要用指令 TO 一个一个地写入。

（3）速度字缓冲存储器 BFM#15——通道的转换速度

BFM#15 的设置表示模块的 A-D 转换速度，其设置如下。BFM#15 = 0：转换速度为 15ms/通道；BFM#15 = 1：转换速度为 6ms/通道。

应用时注意以下几点：

1）A-D 转换速度出厂值为 0。

2）为了保持高转换率，应尽可能少使用 FROM/TO 指令。

3）如果程序中改变了转换速度后，BFM#1 ~ BFM#4 将立即恢复出厂值 0。

4）如果模块的速度字与出厂值相同时，可以不用写初始化程序。

2. 数据读取缓冲存储器 BFM#5 ~ BFM#12

外部模拟量经过模块转换成数字量后，被存放在规定的缓冲存储器中。数字量以两种方式存放：一是以平均值存放，CH1 ~ CH4 通道分别存放在 BFM#5 ~ BFM#8 中；二是以当前值存放，CH1 ~ CH4 通道分别存放在 BFM#9 ~ BFM#12 中。PLC 通过读取指令把这些数值复制到内部数据存储器单元。

例如，试说明如图 6-18 所示的梯形图程序的执行含义。

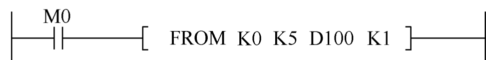



图 6-18 梯形图

程序解释：当 M0 接通时，把 0#模块的 BFM#5 的内容（CH1 的平均值）送到 PLC 的 D100 存储器中，即 D100 存的是 CH1 的平均值。

3. 错误检查缓冲存储器 BFM#29

FX2N-4AD 模拟量输入模块专门设置了一个缓冲存储器 BFM#29 来保护发生错误状态时的错误信息，供查错和保护用。其状态信息如表 6-7 所示。

**表 6-7　BFM#29 状态信息表**

| BFM#29 的位设备 | 开 ON | 关 OFF |
|---|---|---|
| b0：错误 | b1～b4 中任何一个为 ON<br>如果 b2～b4 中任何一个为 ON，所有通道的 A-D 转换停止 | 无错误 |
| b1：偏移/增益错误 | 在 EEPROM 中的偏移/增益数据不正常或者调整错误 | 增益/偏移数据正常 |
| b2：电源故障 | 24V DC 电源故障 | 电源正常 |
| b3：硬件错误 | A-D 转换器或其他硬件故障 | 硬件正常 |
| b10：数字范围错误 | 数字输出值小于 －2048 或大于 ＋2047 | 数字输出值正常 |
| b11：平均采样错误 | 平均采样数不小于 4097，或者不大于 0（使用默认值 8） | 平均正常（在 1～4096 之间） |
| b12：偏移/增益调整禁止 | 禁止 －BFM#21 的（b1，b0）设为（1，0） | 允许 BFM#21 的（b1，b0）设为（1，0） |

例如，故障信息状态检查的程序如图 6-19 所示。

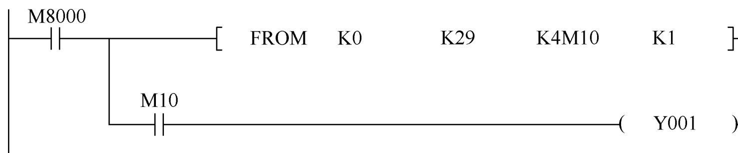



图 6-19　故障信息状态检查梯形图

程序解释：当 M8000 接通时，FROM 指令读取 BFM#29 存储器内的故障信息状态到组合元件 K4M10 中，取 1 位状态字，即 M10（b0）位的状态控制流程。当 b0 出错时 M10 位接通，Y1 接通指示灯亮，表示有错，所有通道的 A-D 停止转换。

4. 模块识别缓冲存储器 BFM#30

当 PLC 所接的模块较多时，为了识别各模块，应对这些模块设置一个相当于身份证的模块识别码。三菱 FX2N 系列 PLC 的特殊模块的识别码是固化在 BFM#30 的缓冲存储器中。FX2N-4AD 的识别码为 K2010，在使用时可在程序中设置一个识别码校对程序，对指令读/写模块进行确认。如果模块正确，则继续执行后续程序；如果不是，则通过显示报警，并停止执行后续程序。

例如，试读图 6-20 所示的 FX2N-4AD 识别码程序。

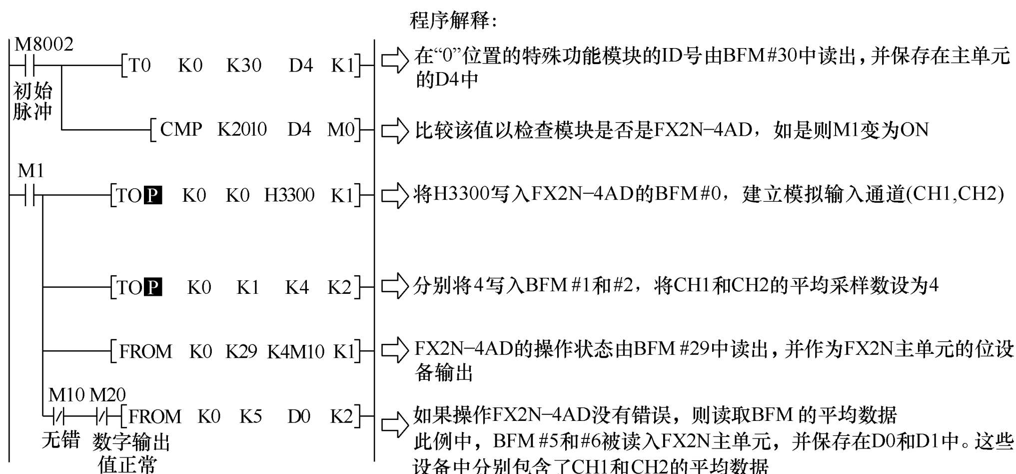



图 6-20　FX2N-4AD 识别码程序梯形图

5. 标定调整

标定调整主要就是对零点和增益两点值做程序修改，使之符合控制要求。FX2N-4AD 模拟量模块的标定调整是通过对缓冲存储器进行设置调整的，与 FX2N-2AD 的标定调整方法不一样，下面详细介绍 FX2N-4AD 标定调整的步骤与方法。

（1）设定 BFM#21 缓冲存储器，选择对模块所有缓冲存储器是否进行修改

在进行标定调整时，必须设置 BFM#21 缓冲存储器。设置内容是，BFM#21 = K1 时（即 BFM#21 的 b1、b0 位设置成 0、1），允许调整；BFM#21 = K2 时（即 BFM#21 的 b1、b0 位设置成 1、0），禁止调整。出厂值为 K1。当调整完毕后，应通过程序把 BFM#21 设置为 K2，防止进一步发生变化。

例如，图 6-21 所示是设定 BFM#21 的梯形图程序

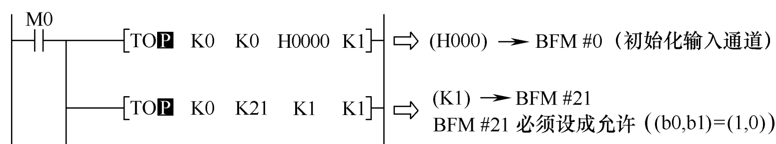



图 6-21　设定 BFM#21 的梯形图

（2）设定 BFM#22 缓冲存储器，选择每个通道的零点和增益是否进行调整

FX2N-4AD 有 4 个模拟量输入通道，每个通道均可独立调整零点和增益，一共有 8 个调整要进行是否允许调整选择。模块是通过对 BFM#22 的低 8 位位值来决定哪个通道的零点和增益是否进行调整，在调整字之前，要先将 BFM#22 单元全部置零，其设置如图 6-22 所示。

例如，试读图 6-23 所示的梯形图程序。

（3）零点调整值写入 BFM#23 和增益调整值写入 BFM#24

FX2N-4AD 模拟量输入模块提供了 BFM#23 和 BFM#24 两个缓冲存储器作为零点和增



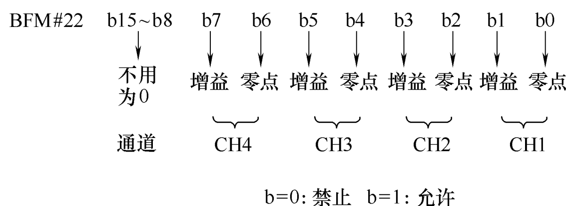



图 6-22 BFM#22 的设定字

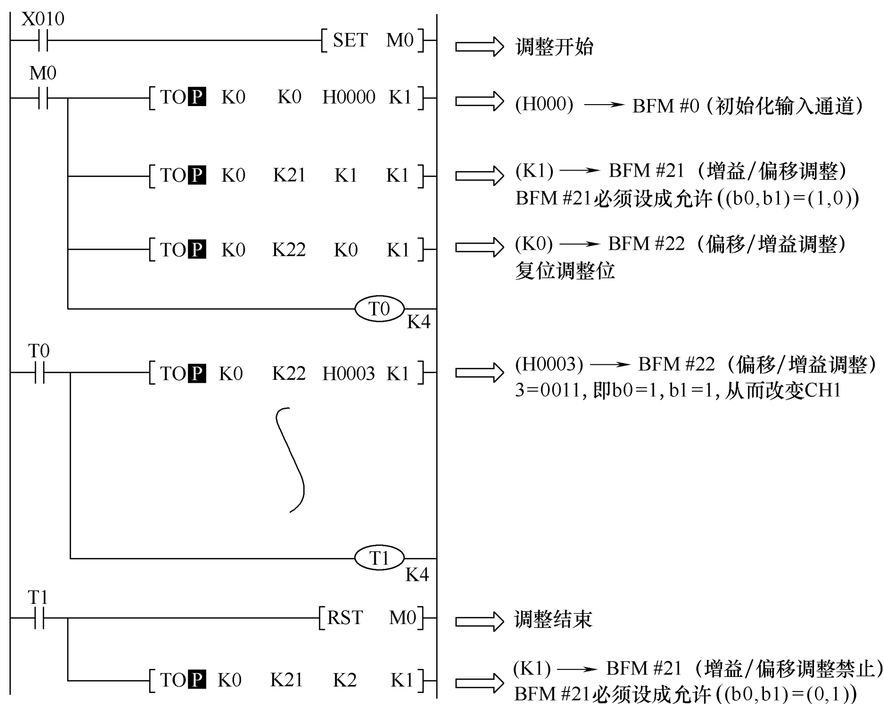



图 6-23 梯形图

益调整值的写入单元。出厂时 BFM#23 = K0，BFM#24 = K5000。

调整时可通过软件中编制程序来完成，外部不需要外接电压表和电流表，零点和增益的输入值的单位为 mV 或 μA。因此，所有电压或电流都必须变换成 mV 或 μA 为单位的数值写入程序。例如，如果零点调整为 1V，则程序中应写入 1000mV；同样，如果增益为 5mA（5mA = 5000μA），程序中应输入值为 5000。

**提示：**

1）BFM#0、BFM#23 和 BFM#24 的值将复制到 FX2N-4AD 的 EEPROM 中。只有数据写入增益/偏移命令缓冲 BFM#22 中时才复制 BFM#21 和 BFM#22。同样，BFM#20 也可以写入 EEPROM 中。因此，写入 EEPROM 需要 300ms 左右的延迟，才能第二次写入。

2）EEPROM 的使用寿命大约是 10000 次（改变），因此不要使用程序频繁地修改这些 BFM。

例如，通过软件设置零点值和增益值，要求 CH1 通道的零点值和增益值设置为 0V 和 2.5V，图 6-24 所示为梯形图程序。

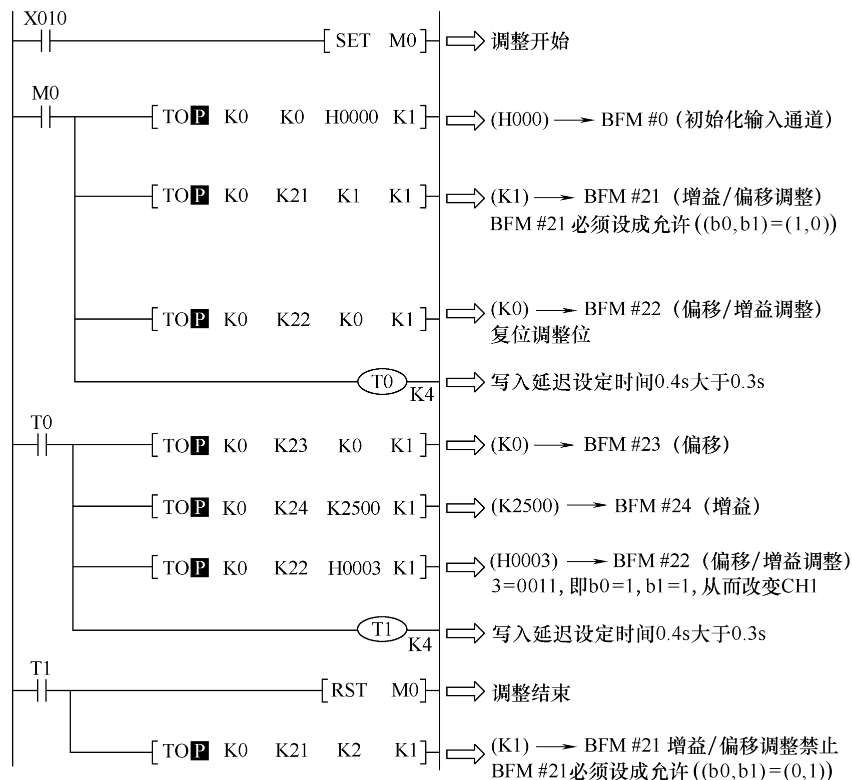



图 6-24　软件设置零点和增益的梯形图程序

## 四、检查与诊断

1. 初步检查

1）检查输入配线和/或扩展电缆是否正确连接到 FX2N-4AD 模拟特殊功能模块上。

2）检查有无违背 FX2N 系统配置规则。例如，特殊功能模块的数量不能超过 8 个，并且总的系统 I/O 点数不能超过 256 点。

3）确保应用中选择正确的输入模式和操作范围。

4）检查在 5V 或 24V 电源上有无过载，应注意，FX2N 主单元或者有源扩展单元的负载是根据所连接的扩展模块或特殊功能模块的数目而变化的。

5）设置 FX2N 主单元为 RUN 状态。

2. 错误诊断

如果特殊功能模块 FX2N-4AD 不能正常运行，应检查下列项目：

1）检查电源 LED 指示灯的状态。如果能点亮，说明扩展电缆连接正确，否则应检查扩展电缆的连接情况。

2）检查外部配线。

3）检查“24V”LED 指示灯的状态（FX2N-4AD 的右上角）。如果能点亮，说明 FX2N-4AD 正常，DC24V 电源正常，否则，可能 DC24V 电源故障；如果电源正常，则是 FX2N-4AD 故障。

4）检查“A-D”LED 指示灯的状态（FX2N-4AD 的右上角）。如果能点亮，说明 A-D 转换正常运行；否则应检查缓冲存储器 BFM#29（错误状态）的状态。如果任何一个位（b2 和 b3）是 ON 状态，那就是 A-D 指示灯熄灭的原因。

**【名师点拨】 如何使用 FX2N-4AD 模拟量输入模块**

下面通过两种情况来学习 FX2N-4AD 模拟量输入模块的使用。

第一种情况：不需要进行标定调整的 FX2N-4AD 的使用步骤，其流程如图 6-25 所示。

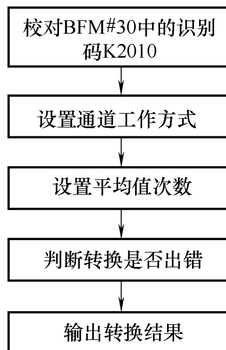



图 6-25 不需要标定调整的步骤流程图

例如，编制 FX2N-4AD 模块应用程序，具体要求如下：

1）FX2N-4AD 为 0#模块。

2）CH1 与 CH2 为电压输入，CH3 与 CH4 关闭。

3）采样次数为 4。

4）用 PLC 的 D0、D1 接收 CH1、CH2 的平均值。

根据流程图并结合控制要求进行分析，其操作步骤如下：

步骤一：模块识别。

根据控制要求可知，模块型号是 FX2N-4AD，其识别码为 K2010，安装位置编号为 0，其模块识别程序如图 6-26 所示。

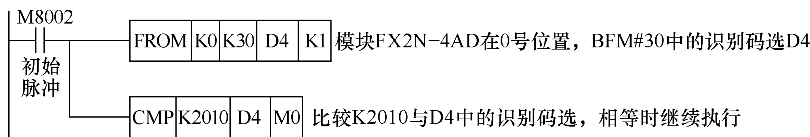



图 6-26 模块识别程序

步骤二：设置通道工作方式。

根据控制要求分析，通道字的工作方式设定是由 BFM#0 缓冲存储器内容决定。第一个通道 CH1 为电压输入，那么第一个通道应该设置成 0；第二个通道 CH2 为电压输入，那么第二个通道应该设置成 0；CH3 与 CH4 关闭。因此，通道字是 H3300，程序如图 6-27 所示。

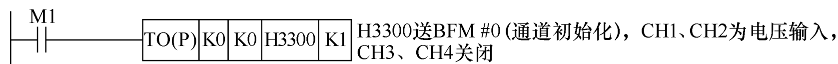



图 6-27 通道字设定程序

步骤三：设置平均值次数。

根据控制要求可知，平均值采样次数为4，转换速度为默认出厂值（默认出厂值时，这个字可以不写），其程序如图6-28所示。

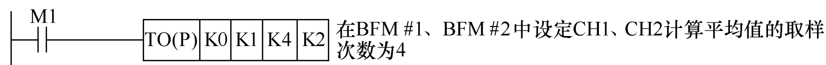



图6-28　采样字设定程序

步骤四：判断转换是否出错。

BFM#29缓冲存储器专门用来保存发生错误状态时的错误信息。故障信息状态由FROM读取到组合位元件并控制程序的执行，程序如图6-29所示。




图6-29　判断转换是否出错程序

步骤五：输出转换结果。

当判断转换正确后，可执行转换输出，程序如图6-30所示。

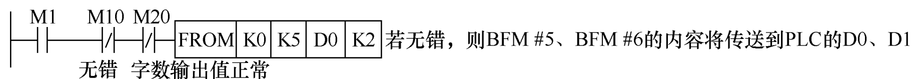



图6-30　输出转换程序

步骤六：合并程序。

把以上分析的程序进行合并优化，如图6-31所示。

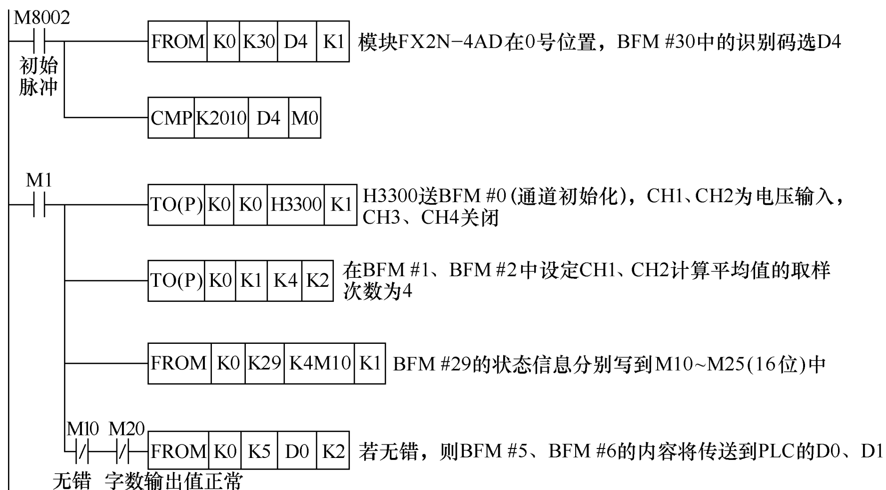



图6-31　FX2N-4AD应用程序



第二种情况：需要进行标定调整的 FX2N-4AD 的使用步骤，其流程如图 6-32 所示。

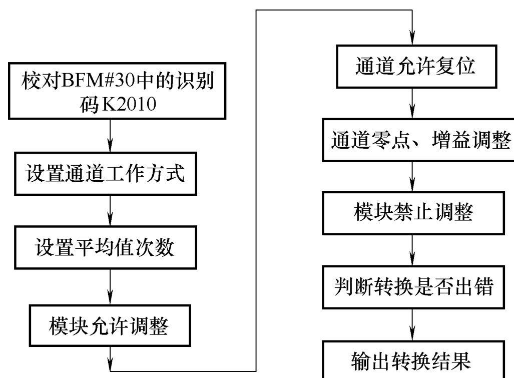



图 6-32 需要标定调整的步骤流程图

例如，编制 FX2N-4AD 模块应用程序，具体要求如下：

1）FX2N-4AD 为 0#模块。

2）CH1 为电压输入，CH2 为电流输入（标准 4～20mA），要求 CH2 调整为 7～20mA。CH3 与 CH4 关闭。

3）采样次数为 4。

4）用 PLC 的 D0、D1 接收 CH1、CH2 的平均值。

根据流程图并结合控制要求进行分析，其操作步骤如下：

**步骤一：模块识别。**

根据控制要求可知，模块型号是 FX2N-4AD，其识别码为 K2010，安装位置编号为 0，其模块识别程序如图 6-33 所示。

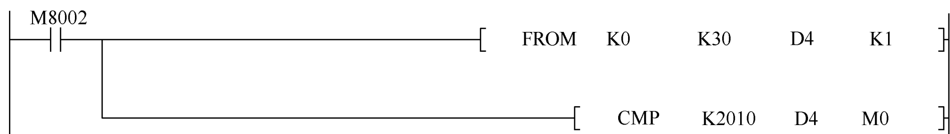



图 6-33 模块识别程序

**步骤二：设置通道工作方式。**

根据控制要求分析，通道字的工作方式设定是由 BFM#0 缓冲存储器内容决定。第一个通道 CH1 为电压输入，那么第一个通道应该设置成 0；第二个通道 CH2 为电流输入（4～20mA），那么第二个通道应该设置成 1；CH3 与 CH4 关闭。因此，通道字是 H3310，程序如图 6-34 所示。

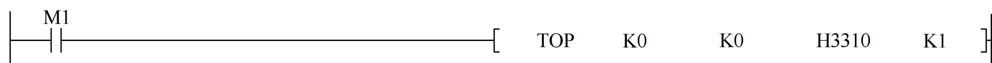



图 6-34　通道字设定程序

步骤三：设置平均值次数。

根据控制要求可知，平均值采样次数为 4，转换速度数默认出厂值（默认出厂值时，这个字可以不写），其程序如图 6-35 所示。

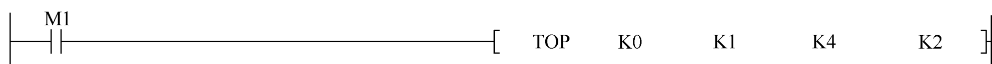



图 6-35　采样字设定程序

步骤四：模块允许调整。

设 BFM#21 = K1，允许模块调整，程序如图 6-36 所示。

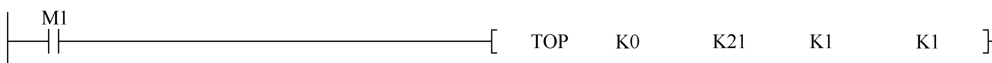



图 6-36　允许模块调整程序

步骤五：通道复位。

写入通道字之前，必须先把 BFM#22 单元通道复位清零，以上五步程序在写入缓冲存储器后需要延迟大于 0.3s 后才能执行后续程序，因此，在程序中应加一个延时程序，程序如图 6-37 所示。

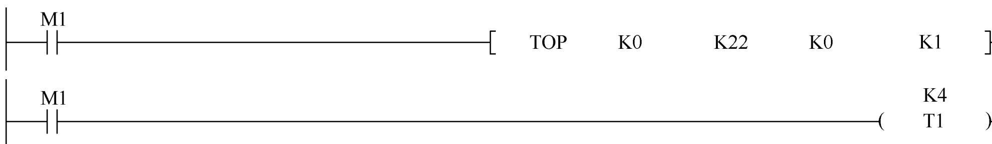



图 6-37　延时程序

步骤六：通道零点、增益调整。

根据控制要求可知，CH1 通道是电压标准输入，其标定不许调整。CH2 通道为电流输入，要求调整为 7～20mA 电流输入，其程序中零点值为 7000，增益值为 20000，程序如图 6-38 所示。

步骤七：模块禁止调整。

当上述标定调整完成后，编制一段程序禁止模块调整，防止程序进一步发生变化。程序如图 6-39 所示。

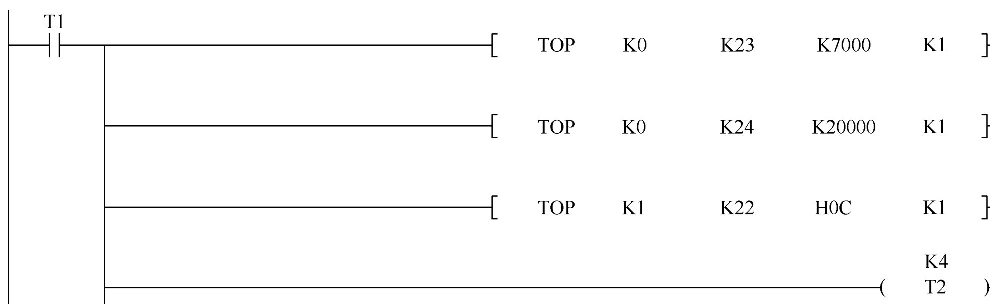



图 6-38 通道零点、增益调整的程序

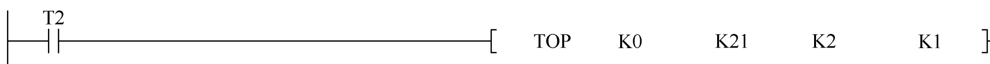



图 6-39 模块禁止调整程序

步骤八：判断转换是否输出。

读 BFM#29 缓冲存储器中的内容，如果无错，则执行后续程序，程序如图 6-40 所示。

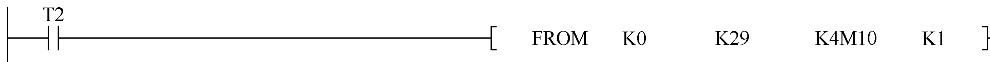



图 6-40 判断转换是否输出程序

步骤九：输出转换结果。

当按步骤八检查无误后，则读取通道 CH1、CH2 的平均值送到 D0、D1 中，程序如图 6-41 所示。

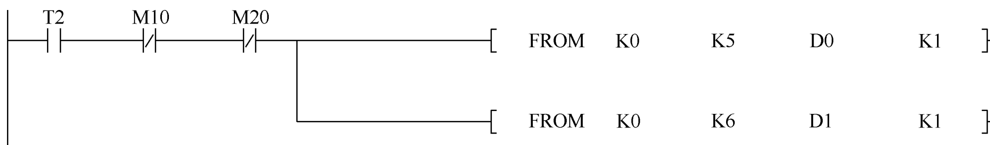



图 6-41 输出转换程序

步骤十：合并程序。

根据以上步骤所编制的程序进行合并优化，得到完整的程序如图 6-42 所示。

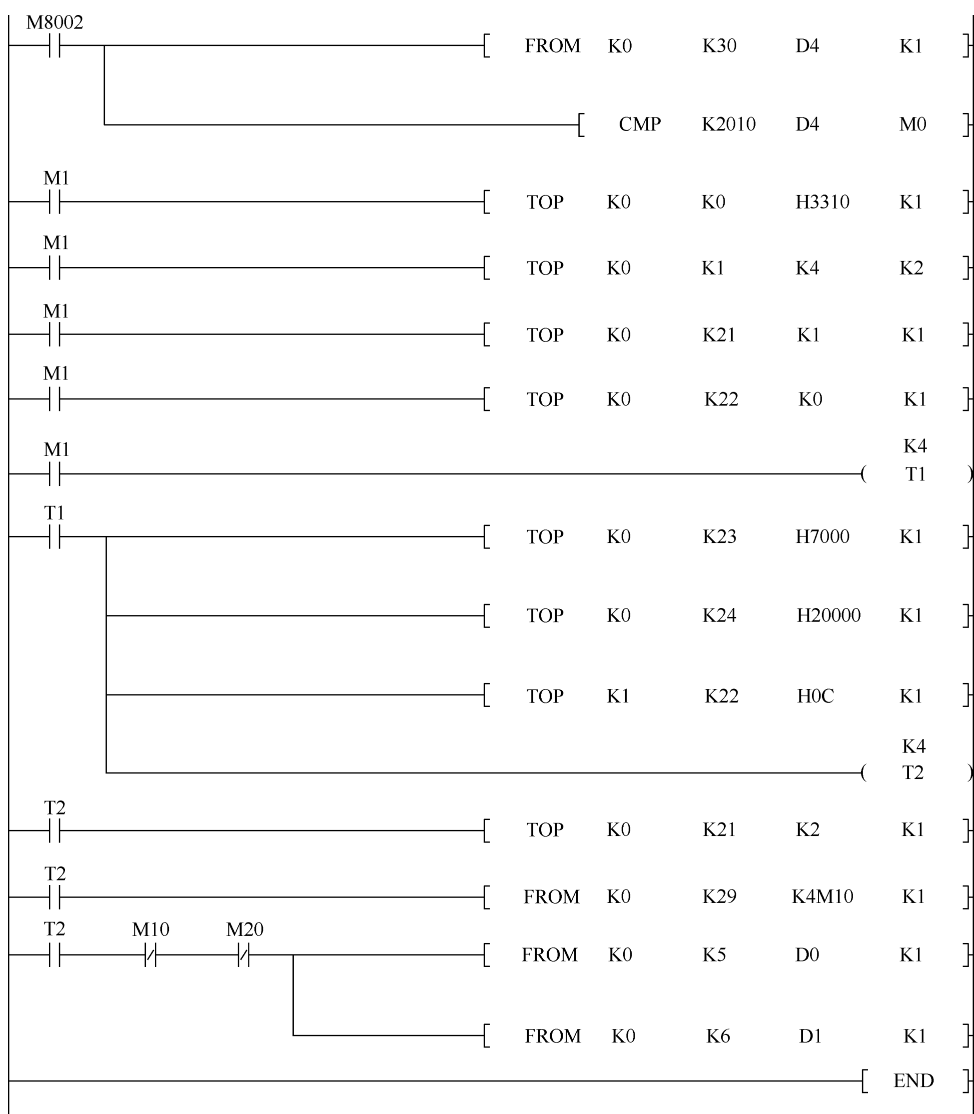



图 6-42　完整的梯形图程序

# 第四节　模拟量输出模块 FX2N-2DA 的应用

## 一、FX2N-2DA 介绍

FX2N-2DA 模块是一种 2 通道、12 位高精度的 D-A 转换输出模块，如图 6-43 所示，它的功能是将 12 位数字值转换成 2 点模拟量输出（电压输出和电流输出），并将它们输入

给 PLC 中。FX2N-2DA 可用于连接 FX0N、FXIN、FX2N 和 FX2NC 系列的程序控制系统。

1. FX2N-2DA 功能

1）可进行 2 个通道的模拟电压或电流输出。如 DC0 ~ 10V、DC0 ~ 5V 或者 4 ~ 20mA 信号。

2）根据接线方式，模拟输出可在电压输出与电流输出中进行选择。



图 6-43　FX2N-2DA 模块

2. FX2N-2DA 模拟量输出模块性能（见表 6-8）

**表 6-8　FX2N-2DA 模拟量输出模块性能指标**

| 项　　目 | 输 出 电 压 | 输 出 电 流 |
|---|---|---|
| 模拟量输出范围 | DC0 ~ 10V，DC0 ~ 5V | 4 ~ 20mA |
| 数字输出 | 12 位 | |
| 分辨率 | 2. 5mV（10V/4000）　1. 25mV（5V/4000） | 4mA（20mA/4000） |
| 总体精度 | 满量程 1% | |
| 转换速度 | 4ms/通道 | |
| 电源规格 | 主单元提供 5V/30mA 和 24V/85mA | |
| 占用 I/O 点数 | 占用 8 个 I/O 点，可分配为输入或输出 | |
| 适用的 PLC | FX0N，FX1N，FX2N，FX2NC | |

## 二、接线与标定

1. FX2N-2DA 的接线（见图 6-44）

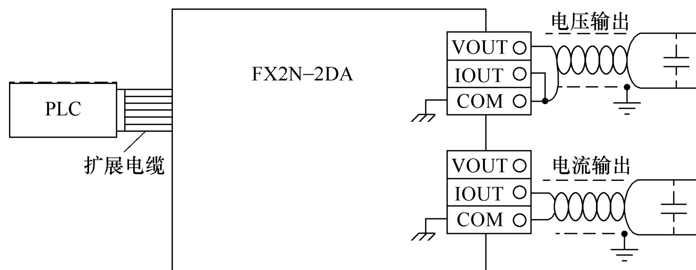


图 6-44　FX2N-2DA 的接线

接线说明：

1）当电压输出存在波动或有大量噪声时，在图中所示位置处连接 0. 1 ~ 0. 47μF/DC25V 的电容。

2）对于电压输出，需将 IOUT 和 COM 进行短路。

2. FX2N-2DA 的标定（见表 6-9）

表 6-9　FX2N-2DA 标定

| 项　　目 | 电 压 输 出 | 电 流 输 出 |
|---|---|---|
| 输出特性 | 模拟值：0~10V<br>数字值：0~4000<br>10.238V<br>10V<br>模拟值<br>4095<br>0<br>4000<br>数字值<br>偏置值是固定的 | 模拟值：4~20mA<br>数字值：0~4000<br>20.380mA<br>20mA<br>模拟值<br>4095<br>4mA<br>0<br>4000<br>数字值 |
| | 当 13 位或更多位的数据输入时，只有最后 12 位是有效的。高端位忽略<br>在 0 ~ 4095 的范围内使用数字值<br>可对两个通道中的每个进行输出特性的设置 | |

## 三、缓冲存储器 BFM 的功能分配

FX2N-2DA 缓冲存储器 BFM 各个单元的内容设置如表 6-10 所示。

表 6-10　FX2N-2DA 缓冲存储器单元的内容设置

| BFM 编号 | b15 ~ b8 | b7 ~ b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|
| #0 ~ #15 | 保留 | | | | |
| #16 | 保留 | 输出数据的当前值（8 位数据） | | | |
| #17 | 保留 | | D-A 低 8 位数据保持 | 通道 1 的 D-A 转换开始 | 通道 2 的 D-A 转换开始 |
| #18 或更大 | 保留 | | | | |

缓冲存储器的应用说明：

1）BFM#16：存放由 BFM#17（数字值）指定通道的 D-A 转换数据。D-A 数据以二进制形式出现，将 12 位数字量的低 8 位写入到 BFM#16 的低 8 位，高 4 位写入到 BFM#16 的高 4 位。

2）BFM#17 设置：

① b0 位：通过将 1 变成 0，通道 2 的 D-A 转换开始。

② b1 位：通过将 1 变成 0，通道 1 的 D-A 转换开始。

③ b2 位：通过将 1 变成 0，D-A 转换的低 8 位数据保持。



**【名师点拨】 如何使用FX2N-2DA模拟量输出模块**

下面通过编制一段程序来学习FX2N-2DA的应用。

步骤一：FX2N系列PLC与FX2N-2DA接线（见图6-45）。

1）连接扩展电缆到PLC主机，当电源LED指示灯点亮，说明扩展电缆正确连接；指示灯灭或闪烁，则检查扩展电缆连接是否正常。

2）FX2N-2DA的标定出厂时为0～10V电压输出，其对应的数字量为0～4000，模块就不需要标定调整。如果输出不符合输出特性时，使用时就必须对标定进行调整，具体调整方法可参考本节【知识拓展】。

步骤二：编制程序。

1）确定FX2N-2DA的编号为0#。

2）两个通道输出：CH1输出数据存D100并转换到继电器M100～M115；CH2输出数据存D110并转换到继电器M100～M115。

3）编制程序如图6-46所示。

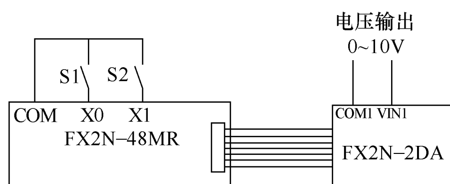



图6-45 接线图




图6-46 梯形图程序

当X0接通时，通道1的输入执行数字到模拟的转换输出从D100转换到M100～M115继电器中。

当X1接通时，通道2的输入执行数字到模拟的转换输出从D110转换到M100～M115继电器中。

【知识拓展】FX2N-2DA零点和增益的调整

FX2N-2DA的标定出厂时为0～10V电压输出，其对应的数字量为0～4000，模块就不需要标定调整。如果输出不符合输出特性，使用时就必须对标定进行调整。零点值和增益值的调节是对数字值设置实际的输出模拟值，这是根据FX2N-2DA的容量调节器（见图6-47），使用电压表和电流表来完成的。

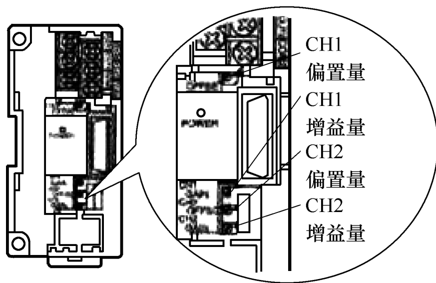


图6-47　容量调节器示意图

步骤一：按图接线。

在实际调节时，先按图6-48所示的连接在模块的输出端口接入一个电压，并且连接PLC及装有编程软件计算机。

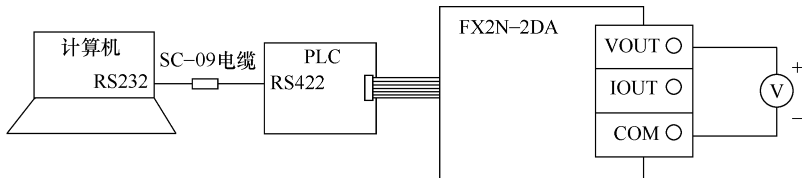


图6-48　接线图

步骤二：编制模拟量输出程序。

在PLC内部编制模拟量输出程序如图6-49所示。

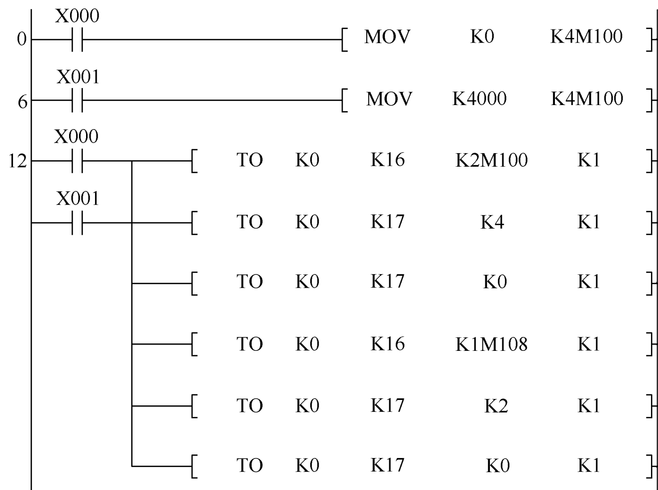


图6-49　梯形图程序



步骤三：增益值调整。

在程序输出数据寄存器中存入数值4000，接通X1，然后转动增益调节器，使电压表读数为标定值。

步骤四：零点值调整。

在程序输出数据寄存器中存入数值0，接通X0，然后转动零点调节器，使电压表读数为标定值。

步骤五：反复交替调整偏移值和增益值，直到获得稳定的数值。

# 第五节　模拟量输出模块FX2N-4DA的应用

## 一、FX2N-4DA介绍

模拟量输出模块的作用刚好和输入模块相反，它是将数字信息转化成0～10V或4～20mA时用的。三菱FX2N-4DA模块提供了12位高精度分辨率的数字输入，有4个模拟量输出通道。FX2N-4DA模块适用于FX1N、FX2N、FX2NC等系列。

1. FX2N-4DA的功能

1）输出的形式可为电压，也可为电流，其选择取决于接线不同。

2）电压输出时模拟输出通道输出信号为DC－10～10V，DC0～5V；电流输出时为4～20mA或0～20mA。

2. FX2N-4DA模块的性能指标（见表6-11）

**表6-11　FX2N-4DA模块的性能指标**

| 项　　目 | 输出电压 | 输出电流 |
|---|---|---|
| 模拟量输出范围 | DC－10～10V，DC0～5V | 0～20mA，4～20mA |
| 数字输出 | 12位 | |
| 分辨率 | 5mV | 20μA |
| 总体精度 | 满量程1% | |
| 转换速度 | 2.1ms/通道 | |
| 电源规格 | 24V/200mA | |
| 占用I/O点数 | 占用8个I/O点 | |
| 适用的PLC | FX1N，FX2X，FX2NC | |

## 二、接线与标定

1. FX2N-4DA 的接线（见图 6-50）

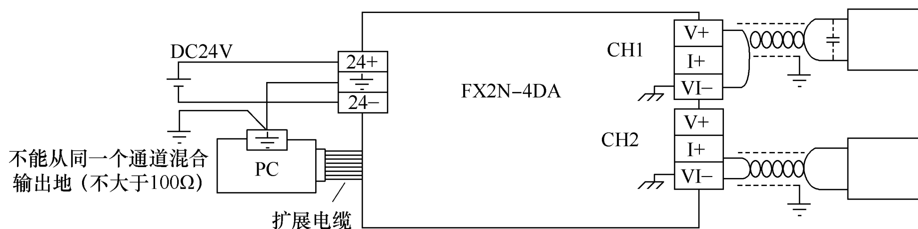



图 6-50　FX2N-4DA 接线示意图

接线说明：

1）对于模拟输出使用双绞屏蔽电缆。电缆应远离电源线或其他可能产生电气干扰的线缆。

2）在输出电缆的负载端使用单点接地。

3）如果输出存在电气噪声或者电压波动，可以连接一个平滑电容器（0.1～0.47μF/25V）。

4）将 FX2N-4DA 的接地端和 PLC 的 MPU 的接地端连接在一起。

5）将电压输出端子短路或者连接电流输出负载到电压输出端子可能会损坏 FX2N-4DA。

6）不要将任何单元连接到标有“·”的未用端子上。

2. FX2N-4DA 标定

FX2N-4DA 有 3 种输出标定，如表 6-12 所示。

**表 6-12　FX2N-4DA 标定**

| 模式 0( －10～10V) | 模式 1(4～20mA) | 模式 2(0～20mA) |
|---|---|---|
| 负载阻抗10kΩ<br>+10.235V<br>+10V<br>模拟输出<br>−2000<br>+2047<br>+2000<br>−2048<br>输出模式0<br>数字输入<br>−10V<br>−10.240V | 负载阻抗250kΩ<br>模拟输出<br>+20mA<br>+4mA<br>输出模式1<br>0<br>数字输入<br>+1000 | 负载阻抗250kΩ<br>模拟输出<br>+20mA<br>输出模式2<br>0<br>数字输入<br>+1000 |




## 三、缓冲存储器 BFM 的功能分配

FX2N-4DA 的缓冲存储器 BFM 由 32 个 16 位的存储器组成，编号为 BFM#0 ~ BFM#31。通过 FROM/TO 指令来对 FX2N-4DA 的缓冲存储器 BFM 进行操作。各缓冲存储器中的单元功能分配如表 6-13 所示。

**表 6-13　缓冲存储器各单元的功能**

<table>
<tr><th colspan="2">BFM</th><th colspan="2">说　明</th></tr>
<tr><td colspan="2">#0</td><td colspan="2">通道初始化，出厂值 H0000</td></tr>
<tr><td colspan="2">#1</td><td colspan="2">CH1 的输出数据（初始值：0）</td></tr>
<tr><td colspan="2">#2</td><td colspan="2">CH2 的输出数据（初始值：0）</td></tr>
<tr><td colspan="2">#3</td><td colspan="2">CH3 的输出数据（初始值：0）</td></tr>
<tr><td colspan="2">#4</td><td colspan="2">CH4 的输出数据（初始值：0）</td></tr>
<tr><td colspan="2">#5</td><td colspan="2">数据保持模式</td></tr>
<tr><td colspan="2">#6</td><td colspan="2">保留</td></tr>
<tr><td colspan="2">#7</td><td colspan="2">保留</td></tr>
<tr><td rowspan="10">W</td><td>#8(E)</td><td colspan="2">CH1、CH2 的偏移/增益设定命令，初始值 H0000</td></tr>
<tr><td>#9(E)</td><td colspan="2">CH3、CH4 的偏移/增益设定命令，初始值 H0000</td></tr>
<tr><td>#10</td><td>偏移数据 CH1</td><td rowspan="8">单位：mV 或 μA<br>初始偏移值：0 输出<br>初始增益值：+5000 模式 0</td></tr>
<tr><td>#11</td><td>增益数据 CH1</td></tr>
<tr><td>#12</td><td>偏移数据 CH2</td></tr>
<tr><td>#13</td><td>增益数据 CH2</td></tr>
<tr><td>#14</td><td>偏移数据 CH3</td></tr>
<tr><td>#15</td><td>增益数据 CH3</td></tr>
<tr><td>#16</td><td>偏移数据 CH4</td></tr>
<tr><td>#17</td><td>增益数据 CH4</td></tr>
<tr><td colspan="2">#18，#19</td><td colspan="2">保留</td></tr>
<tr><td rowspan="2">W</td><td>#20(E)</td><td colspan="2">初始化，初始值 =0</td></tr>
<tr><td>#21E</td><td colspan="2">禁止调整 I/O 特性（初始值：1）</td></tr>
<tr><td colspan="2">#22 ~ #28</td><td colspan="2">保留</td></tr>
<tr><td colspan="2">#29</td><td colspan="2">错误状态</td></tr>
<tr><td colspan="2">#30</td><td colspan="2">K3020 识别码</td></tr>
<tr><td colspan="2">#31</td><td colspan="2">保留</td></tr>
</table>

FX2N-4DA 模拟量的功能是通过 BMF 缓冲存储器的各个单元内容来设置完成的，下面具体介绍一下各缓冲存储器的功能。

1．FX2N-4DA 模块的初始化

（1）通道字存储器 BFM#0——模拟量输入通道选择

模拟量输出通道的选择是由 BFM#0 存储器的内容所决定，设置 BFM#0 为 4 位十六进




制数 HOOOO 控制，每一位代表输出控制通道，而每一位的数字都代表输出模拟量的类型，如图 6-51 所示。图中数值 O 可设置成数字 0、1、2 和 3，具体所表示的输入模拟量含义是，数字“0”表示 DC－10～＋10V 模拟量输出；数字“1”表示 4～20mA 模拟量输出；数字“2”表示 0～20mA 模拟量输出；数字“3”表示关闭通道。通常出厂时设置为 H0000，即所有均设置为通道 DC－10～＋10V 模拟量输出。如果需要关断某一模拟量通道时，应将某通道的控制位设置为“3”。

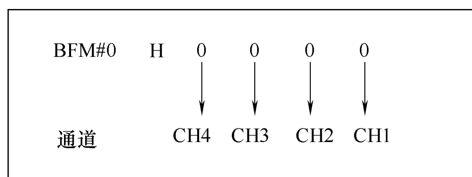



图 6-51　模拟量输出通道类型

例如，试说明通道字 H0201 的含义，如图 6-52 所示。

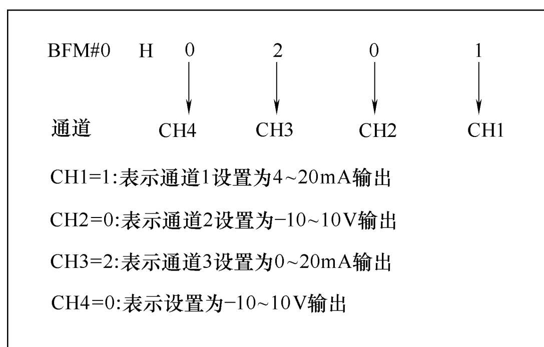



图 6-52　通道字 H0201 的含义解释

（2）数据保持字 BFM#5

BFM#5 是用来决定当 PLC 处于停止（STOP）模式时，RUN 模式下的 CH1、CH2、CH3、CH4 的输出状态的最后值是保持输出还是回零。其值代表含义如下：

H O O O O（CH4 CH3 CH2 CH1）

O=0:保持输出。

O=1:复位到偏移值。

例：H0011…………CH1和CH2=偏移值，CH3和CH4=输出保持。

2. 数据输出存储器 BFM#1～BFM#4

FX2N-4DA 的数据是通过写指令 TO 来写入的，在程序中设置写入数据缓冲存储器中的指令程序，当执行写入程序时，输出缓冲存储器接收从 PLC 送来的数据，并立即进行 D-A 转换，把数字量转换成相应的模拟量输出控制负载执行器等。

1）BFM#1 用来存放 CH1 的输出数字量。

2）BFM#2 用来存放 CH2 的输出数字量。

3）BFM#3 用来存放 CH3 的输出数字量。

4）BFM#4 用来存放 CH4 的输出数字量。

3. 错误检查缓冲存储器 BFM#29

FX2N-4DA 模拟量输出模块专门设置了一个缓冲存储器 BFM#29 来保护发生错误状态时的错误信息，供查错和保护用。其状态信息如表 6-14 所示。

**表 6-14　BFM#29 状态信息表**

| 位 | 名字 | 位设为“1”（打开）时的状态 | 位设为“0”（关闭）时的状态 |
|---|---|---|---|
| b0 | 错误 | b1～b4 任何一位为 ON | 错误无错 |
| b1 | 偏移/增益错误 | EEPROM 中的偏移/增益数据不正常或者发生设置错误 | 偏移/增益数据正常 |
| b2 | 电源错误 | DC24V 电源故障 | 电源正常 |
| b3 | 硬件错误 | D-A 转换器故障或者其他硬件故障 | 没有硬件缺陷 |
| b10 | 范围错误 | 数字输入或模拟输出值超出指定范围 | 输入或输出值在规定范围内 |
| b12 | 偏移/增益调整禁止状态 | BFM#21 没有设为“1” | 可调整状态（BFM#21＝1） |

4. 模块识别缓冲存储器 BFM#30

三菱 FX2N 系列的特殊模块的识别码是固化在 BFM#30 的缓冲存储器中。FX2N-4DA 的识别码为 K3020，在使用时可在程序中设置一个识别码校对程序，对指令读/写模块进行确认。如果模块正确，则继续执行后续程序；如果不是，则通过显示报警，并停止执行后续程序。

5. 标定调整缓冲存储器

（1）BFM#21 模块调整字

设置 BFM#21＝K1，允许调整；BFM#21＝K2，禁止调整。出厂值为 K1。

（2）BFM#8、BFM#9 通道调整字

FX2N-4DA 的调整通道字是由 BFM#8 和 BFM#9 的相应数据位决定的，如果要改变通道 CH1～CH4 的偏移和增益值只有此命令输出后，当前值才会生效。其设置如图 6-53 所示。

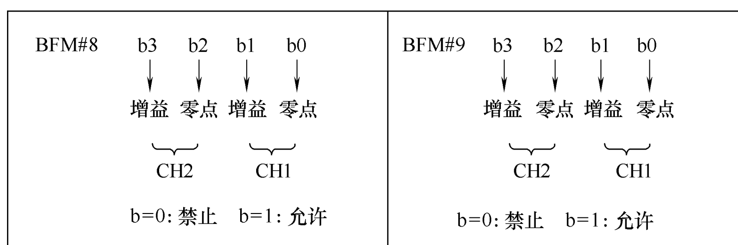



图 6-53　BFM#8、BFM#9 通道调整字

（3）零点与增益数据设置 BFM#10～BFM#17

FX2N-4DA 的 4 个通道的零点与增益调整值分别有 BFM#10～BFM#17 共 8 个缓冲存储

器写入，如图6-54所示，写入数据的单位是mV和μA。出厂值所有零点都为H000，所有增益都为H5000。

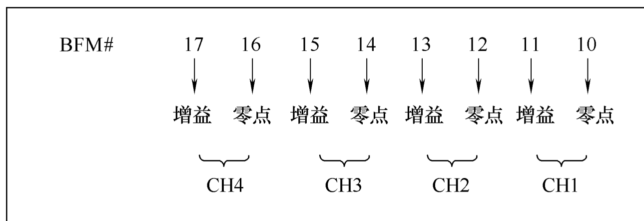



图6-54　FX2N-4DA零点增益数据调整

**提示：**

1）BFM#0、BFM#5和BFM#21的值保存在FX2N-4DA的EEPROM中，当使用增益/偏移设定命令BFM#8、BFM#9时，BFM#10～BFM#17的值将复制到FX2N-4DA的EEPROM中。同样，BFM#20会导致EEPROM的复位。因此向内部EEPROM写入新值需要一定的时间，例如，BFM#10～BFM#17的指令之间大约需要3s的延迟。因此，在向BFM#10～BFM#17写入之前，必须使用延迟定时器。

2）EEPROM的使用寿命大约是10000次（改变），不要使用频繁修改这些BFM的程序。

6. BFM#20复位缓冲存储器

BFM#20为复位缓冲存储器，出厂值为0。当K1写入到BFM#20时，所有的值将被初始化。

## 四、检查与诊断

1. 初步检查

1）检查输入配线和/或扩展电缆是否正确连接到FX2N-4DA模拟特殊功能模块上。

2）检查有无违背FX2N系统配置规则。例如，特殊功能模块的数量不能超过8个，并且总的系统I/O点数不能超过256点。

3）确保应用中选择正确的输出模式和操作范围。

4）检查在5V或24V电源上有无过载。应注意，FX2N主单元或者有源扩展单元的负载是根据所连接的扩展模块或特殊功能模块的数目而变化的。

5）设置FX2N主单元为RUN状态。

6）打开或关闭模拟信号的DC24V电源后，模拟输出将起伏大约1s。这是由于MPU电源的延时或起动时的电压差异造成的。因此，应采取预防性措施如图6-55所示，以避免输出的波动影响外部单元。

2. 错误诊断

如果特殊功能模块FX2N-4DA不能正常运行，应检查下列项目：

1）检查电源LED指示灯的状态。如果能点亮说明扩展电缆正确连接，否则应检查扩

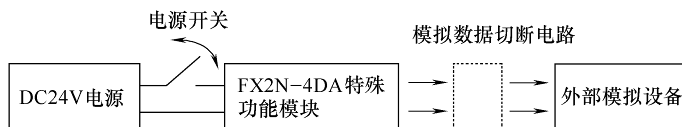



图 6-55 采取预防性措施示意图

展电缆的连接情况。

2）检查外部配线。

3）检查“24V”LED 指示灯的状态（FX2N-4DA 的右上角）。如果能点亮，说明 FX2N-4DA 正常，DC24V 电源正常，否则可能是 DC24V 电源故障；如果电源正常，则是 FX2N-4DA 故障。

4）检查“D-A”LED 指示灯的状态（FX2N-4DA 的右上角）。如果能点亮，说明D-A 转换正常运行，否则是环境条件不符合或者 FX2N-4DA 有故障。

**【名师点拨】 如何使用 FX2N-4DA 模拟量输出模块**

下面通过具体的实例来学习一下 FX2N-4DA 模拟量输出模块的使用。

控制要求：

1）FX2N-4DA 的模块位置编号为 1#。

2）四个通道输出：CH1 和 CH2 为电压输出通道（-10～10V），CH3 为电流输出通道（4～20mA），CH4 为电流输出通道（0～20mA）。

3）当 PLC 停止时，保持输出。

根据控制要求分析可知，四个通道的输出特性设置与出厂值一致，此时标定调整程序可省略。具体操作步骤如下：

步骤一：模块识别。

根据控制要求可知，模块型号是 FX2N-4DA，其识别码为 K3020，安装位置编号为 0，其模块识别程序如图 6-56 所示。

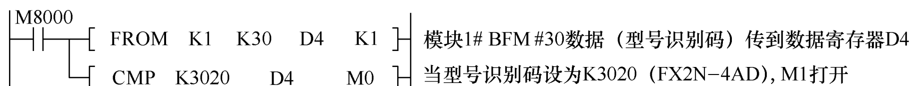



图 6-56 模块识别程序

步骤二：模拟量输出通道选择。

根据控制要求分析，模拟量输出通道选择设定是由 BFM#0 缓冲存储器内容决定的。第一个通道 CH1 为电压输出，那么第一个通道应该设置成 0；第二个通道 CH2 为电压输出，那么第二个通道应该设置成 0；CH3 为电流输出（4～20mA），第三个通道设置成 1；CH4 为电流输出（0～20mA），第四个通道设置成 2。因此，通道字是 H2100，程序如图 6-57 所示。

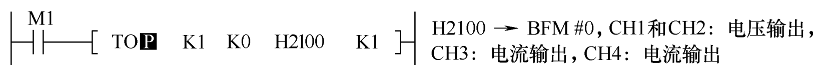



图 6-57　通道输出选择梯形图

步骤三：输出保持。

输出保持程序如图 6-58 所示。

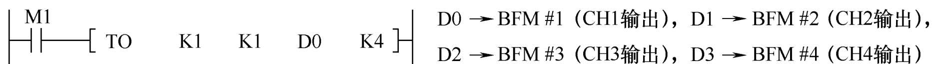



图 6-58　通道输出保持程序

步骤四：判断转换是否输出。

读 BFM#29 缓冲存储器中的内容，如果无错，则执行后续程序，程序如图 6-59 所示。

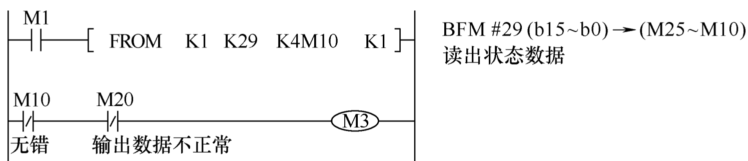



图 6-59　判断转换是否输出程序

步骤五：合并程序。

根据以上步骤所编制的程序进行合并优化，得到完整的程序如图 6-60 所示。

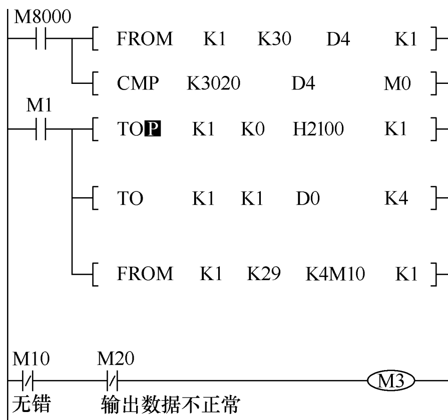



图 6-60　完整的程序

# 第六节 温度传感器用模拟量输入模块 FX2N-4AD-PT 的应用

## 一、FX2N-4AD-PT 介绍

温度控制是模拟量控制中应用比较多的物理量控制，三菱公司为了方便温度传感器的接入，专门开发了温度传感器用模拟量输入模块 FX2N-4AD-PT 和 FX2N-4AD-TC。它们可以直接外接热电阻和热电偶，而变送器和 A-D 转换均由模块自动完成。

FX2N-4AD-PT 是热电阻 PT100 传感器输入模拟量模块，FX2N-4AD-TC 是热电偶（K 型、J 型）传感器输入模拟量模块。下面主要介绍 FX2N-4AD-PT 温度模拟量模块。

1. FX2N-4AD-PT 功能

1）FX2N-4AD-PT 模拟量特殊模块将来自 4 个铂温度传感器（PT100，3 线，100Ω）的输入信号放大，并将数据转换成 12 位的可读数据，存储到主处理单元中。

2）所有的数据传输和参数设置都以通过 FX2N-4AD-PT 的软件来控制调整。

3）温度模块有两种温度读取：摄氏温度和华氏温度，应用时需注意。

2. FX2N-4AD-PT 性能指标

FX2N-4AD-PT 性能指标如表 6-15 所示。

表 6-15 FX2N-4AD-PT 性能指标

| 项目 | 摄氏度（℃） | 华氏度（℉） |
|---|---|---|
| 模拟量输入信号 | PT100 铂温度传感器（100Ω），3 线，4 通道 | |
| 传感器电流 | PT100 传感器 100Ω 时 1mA | |
| 补偿范围 | -100 ~ +600℃ | -148 ~ +1112℉ |
| 数字输出 | -1000 ~ +6000 | -1480 ~ +11120 |
| | 12 转换（11 个数据位 +1 个符号位） | |
| 最小分辨率 | 0.2 ~ 0.3℃ | 0.36 ~ 0.54℉ |
| 整体精度 | 满量程的 ±1% | |
| 转换速度 | 15ms | |
| 电源 | 主单元提供 DC5V/30mA，外部提供 DC24V/50mA | |
| 占用 I/O 点数 | 占用 8 个点，可分配为输入或输出 | |
| 适用 PLC | FX1N，FX2N，FX2NC | |

## 二、接线与标定

FX2N-4AD-PT 的接线如图 6-61 所示。

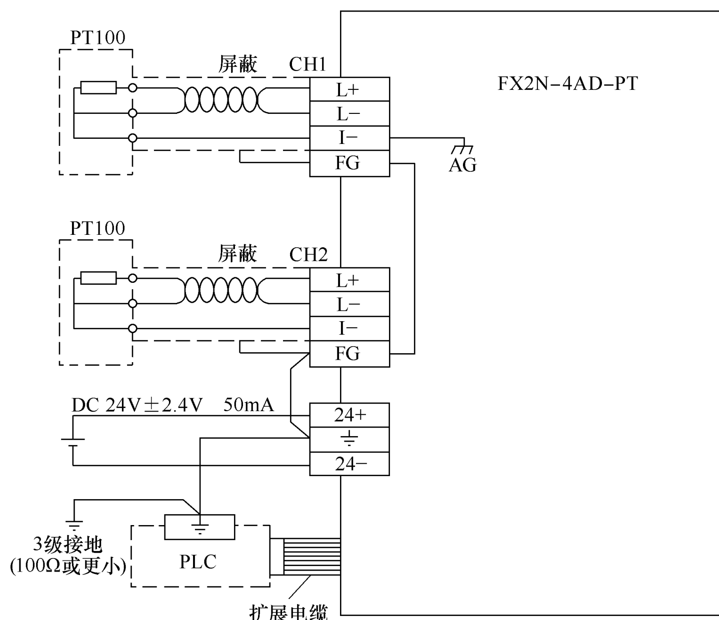



图 6-61 FX2N-4AD-PT 的接线图

接线说明：

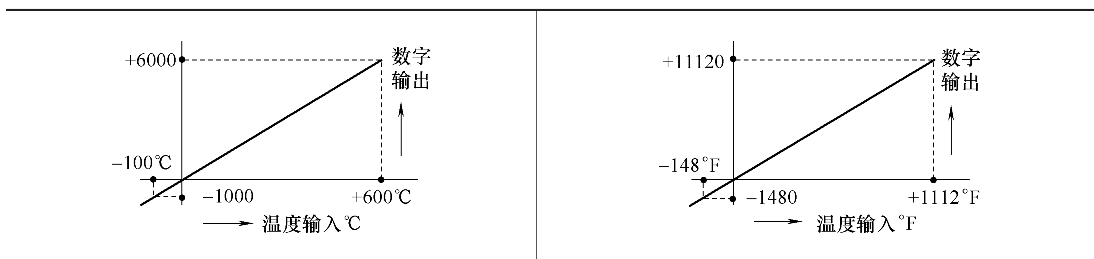
1）FX2N-4AD-PT 应使用 PT100 传感器的电缆或双绞屏蔽电缆作为模拟输入电缆，并且和电源线或其他可能产生电气干扰的线缆隔开。

2）可以采用电压降补偿的方式来提高传感器的精度。如果存在电气干扰，将电缆屏蔽层与外壳地线端子（FG）连接到 FX2N-4AD-PT 的接地端和主单元的接地端。如可行的话，可在主单元使用 3 级接地。

3）FX2N-4AD-PT 可以使用 PLC 的外部或内部的 24V 电源。

FX2N-4AD-PT 有两种温度标定如表 6-16 所示：一种是摄氏温度，另一种是华氏温度，可以根据需要来选择。

**表 6-16 FX2N-4AD-PT 标定**




## 三、缓冲存储器 BFM 的功能分配

FX2N-4AD-PT 缓冲存储器 BFM 各个单元的内容设置如表 6-17 所示。

**表 6-17　FX2N-4AD-PT 缓冲存储器单元的内容设置**

| BFM | 内　　容 |
|---|---|
| #1 ~ #4 | 将被平均的 CH1 ~ CH4 的平均温度可读值（1 ~ 4096），默认值 = 8 |
| #5 ~ #8 | CH1 ~ CH4 在 0.1℃单位下的平均温度 |
| #9 ~ #12 | CH1 ~ CH4 在 0.1℃单位下的当前温度 |
| #13 ~ #16 | CH1 ~ CH4 在 0.1℉单位下的平均温度 |
| #17 ~ #20 | CH1 ~ CH4 在 0.1℉单位下的当前温度 |
| #21 ~ #27 | 保留 |
| #28 | 数字范围错误锁存 |
| #29 | 错误状态 |
| #30 | 识别号 K2040 |
| #31 | 保留 |

FX2N-4DA-PT 模拟量的功能是通过 BMF 缓冲存储器的各个单元内容来设置完成的，下面具体介绍一下各缓冲存储器的功能。

1. 采样字 BFM#1 ~ BFM#4

CH1 ~ CH4 平均温度的采样次数被分配给 BFM#1 ~ BFM#4。采样字只有 1 ~ 4096 的范围是有效的，溢出的值将被忽略，默认值为 8。

2. 温度读取缓冲存储器

（1）平均值温度读取缓冲存储器

BFM#5 ~ BFM#8 为 CH1 ~ CH4 平均摄氏温度读取缓冲存储器。

BFM#13 ~ BFM#16 为 CH1 ~ CH4 平均华氏温度读取缓冲存储器。

（2）当前值温度读取缓冲存储器

BFM#9 ~ BFM#12 为 CH1 ~ CH4 当前摄氏温度读出缓冲存储器。这个数值以 0.1℃为单位，分辨率为 0.2 ~ 0.3℃。

BFM#17 ~ BFM#20 为 CH1 ~ CH4 当前华氏温度缓冲存储器。这个数值以 0.1 ℉为单位，分辨率为 0.36 ~ 0.54 ℉。

3. 数字范围错误锁存缓冲存储器 BFM#28

BFM#28 是数字范围错误锁存，主要功能是当测量温度值发生过高（断线）或过低时，能记录错误信息。它锁存每个通道的错误状态如表 6-18 所示。

**表 6-18　FX2N-4AD-PT BFM#28 位信息**

| b15 ~ b8 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 未用 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 |
| | CH4 | | CH3 | | CH2 | | CH1 | |

表 6-18 中，每个通道低位表示当测量温度下降，并低于最低可测量温度极限时，对应位为 ON；高位表示当测量温度升高，并高于最高可测量温度极限或者热电偶断开时，

对应位为 ON。

在测量中，如果出现错误，则在错误出现之前的温度数据被锁存。如果测量值返回到有效范围内，则温度数据返回正常运行，但错误状态仍然被锁存在 BFM#28 中。当错误消除后，可用 TO 指令向 BFM#28 写入 K0 或者关闭电源，以清除错误锁存。

4. 错误检查缓冲存储器 BFM#29

FX2N-4AD-PT 温度模拟量输入模块专门设置了一个缓冲存储器 BFM#29 来保护发生错误状态时的错误信息，供查错和保护用。其状态信息如表 6-19 所示。

**表 6-19　BFM#29 状态信息表**

| BFM#29 的位设备 | 开 | 关 |
|---|---|---|
| b0：错误 | 如果 b1 ~ b3 中任何一个为 ON，出错通道的 A-D 转换停止 | 无错误 |
| b1：保留 | 保留 | 保留 |
| b2：电源故障 | DC24V 电源故障 | 电源正常 |
| b3：硬件错误 | A-D 转换器或其他硬件故障 | 硬件正常 |
| b4 ~ b9：保留 | 保留 | 保留 |
| b10：数字范围错误 | 数字输出/模拟输入值超出指定范围 | 数字输出值正常 |
| b11：平均错误 | 所选平均结果的数值超出可用范围。<br>参考 BFM#1 ~ BFM#4 | 平均正常（在 1 ~ 4096 之间） |
| b12 ~ b15：保留 | 保留 | 保留 |

5. 模块识别缓冲存储器 BFM#30

FX2N-4AD-PT 的识别码为 K2040，它就存放在缓冲存储器 BFM#30 中。在传输/接收数据之前，可以使用 FROM 指令读出特殊功能模块的识别码，以确认正在对此特殊功能模块进行操作。

## 四、检查与诊断

1. 初步检查

1）检查输入配线和/或扩展电缆是否正确连接到 FX2N-4AD-PT 模拟量模块上。

2）检查有无违背 FX2N 系统配置规则。例如，特殊功能模块的数量不能超过 8 个，并且总的系统 I/O 点数不能超过 256 点。

3）确保应用中选择正确的输入模式和操作范围。

4）检查在 5V 或 24V 电源上有无过载。应注意，FX2N 主单元或者有源扩展单元的负载是根据所连接的扩展模块或特殊功能模块的数目而变化的。

5）设置 FX2N 主单元为 RUN 状态。

2. 错误诊断

如果特殊功能模块 FX2N-4AD-PT 不能正常运行，请检查下列项目。

1）检查电源 LED 指示灯的状态。如果能点亮，说明扩展电缆正确连接，否则应检查扩展电缆的连接情况。

2）检查外部配线。

3）检查“24V”LED 指示灯的状态（FX2N-4AD 的右上角）。如果能点亮，说明 FX2N-4AD-PT 正常，DC24V 电源正常，否则可能 DC24V 电源故障；如果电源正常，则是 FX2N-4AD 故障。

4）检查“A-D”LED 指示灯的状态（FX2N-4AD 的右上角）。如果能点亮，说明A-D 转换正常运行；如果灯熄灭，则可能是 FX2N-4AD-PT 发生了故障。

**【名师点拨】 如何使用 FX2N-4AD-PT 模拟量输入模块**

下面通过具体实例来学习 FX2N-4AD-PT 模拟量输入模块的使用。

控制要求：

1）FX2N-4AD-PT 模块占用特殊模块 2 的位置（即紧靠 PLC 第三个模块）。

2）平均采样次数是 4。

3）输入通道 CH1 ~ CH4 以℃表示的平均温度值分别保存在数据寄存器 D0 ~ D3 中。

根据控制要求进行分析，编制其程序如图 6-62 所示。

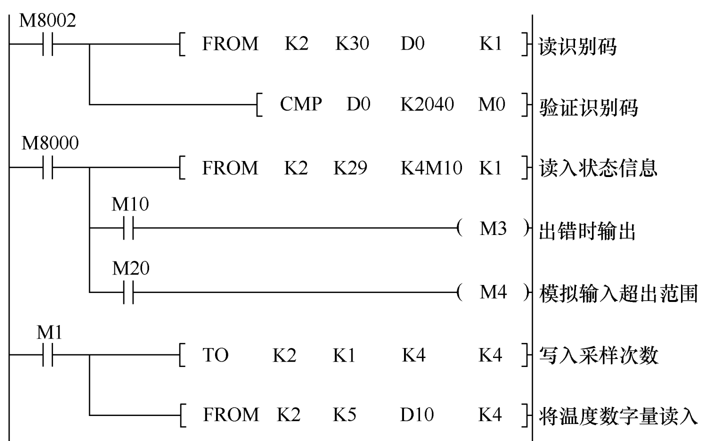



图 6-62 梯形图程序

# 第七章

# PLC 通信控制

## 第一节　通信基本知识

通信协议是指通信双方在数据传输控制中的一种规定，通信双方必须有规定的通信接口、通信格式、数据格式、同步方式、传输速率、纠错方式、控制字符等一系列的内容，通信双方必须同时遵守。一般通信协议应该包括两部分内容：一是硬件通信协议，即通信接口标准；二是软件通信协议，即通信协议。

### 一、硬件通信协议

串口是串行接口的简称，在 PLC 控制系统中，常采用的是 RS232 和 RS485 串行接口标准，下面对 RS232 和 RS485 进行详细介绍。

1. RS232 串行通信接口标准

RS232C 接口（又称 EIA RS232C）是目前最常用的一种串行通信接口。它是在 1970 年由美国电子工业协会（EIA）联合贝尔系统、调制解调器厂家及计算机终端生产厂家共同制定的用于串行通信的标准。它的全名是“数据终端设备（DTE）和数据通信设备（DCE）之间串行二进制数据交换接口技术标准”，它对连接电缆和机械要求、电气特性、信号功能及传送过程等做了具体的定义。目前，PC 上的 COM1、COM2 接口都是 RS232 接口。

（1）RS232 的电气特性

RS232C 对电气特性、逻辑电平和各种信号线功能都作了规定。

在 TXD 和 RXD 上：逻辑 1（传号）= −3 ~ −15V；逻辑 0（空号）= +3 ~ +15V。

在 RTS、CTS、DSR、DTR 和 DCD 等控制线上：信号有效（接通，ON 状态，正电压）= +3 ~ +15V；信号无效（断开，OFF 状态，负电压）= −3 ~ −15V。

以上规定说明了 RS232C 标准对逻辑电平的定义。对于数据（信息码）：逻辑“1”（传号）的电平低于 −3V，逻辑“0”（空号）的电平高于 +3V。对于控制信号；接通状态（ON）即信号有效的电平高于 +3V，断开状态（OFF）即信号无效的电平低于 −3V，也就是当传输电平的绝对值大于 3V 时，电路可以有效地检查出来，介于 −3 ~ +3V 之间的电压无意义，低于 −15V 或高于 +15V 的电压也认为无意义，因此，在实际工作时，应

保证电平在 ± (3 ~ 15)V 之间。

(2) RS232 的物理接口 DB9 连接器

在计算机与终端通信中一般只使用 3 ~ 9 条引线。RS232C 最常用的 9 条引线的 RS232C 接口连接器，如图 7-1 所示。各引脚定义如表 7-1 所示。



图 7-1 DB9 连接器示意图

**表 7-1 RS232C 接口引脚定义**

| DB9 引脚序号 | 信号名称 | 符号 | 流向 | 功能 |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 发送数据 | TXD | DTE→DCE | DTE 发送串行数据 |
| 2 | 接收数据 | RXD | DTE←DCE | DTE 接收串行数据 |
| 7 | 请求发送 | RTS | DTE→DCE | DTE 请求 DCE 将线路切换到发送方式 |
| 8 | 允许发送 | CTS | DTE←DCE | DCE 告诉 DTE 线路已接通可以发送数据 |
| 6 | 数据设备准备好 | DSR | DTE←DCE | DCE 准备好 |
| 5 | 信号地 | GND | | 信号公共地 |
| 1 | 载波检测 | DCD | DTE←DCE | 表示 DCE 接收到远程载波 |
| 4 | 数据终端准备好 | DTR | DTE→DCE | DTE 准备好 |
| 9 | 振铃指示 | RI | DTE←DCE | 表示 DCE 与线路接通，出现振铃 |

常见的 RS232 的接线标准是 3 条线，两根数据线和一根地线，即两个 RS232 设备的发送端（TXD）和接收端（RXD）及接地端（GND）。这种方式分别将两端的 RS232 接口的 2—3，3—2，5(7)—5(7) 引脚连接起来。其中 2 是数据接收线（RXD），3 是数据发送线（TXD），5(7) 是接地（RND），如图 7-2 所示。




图 7-2 RS232 标准接线

(3) RS232 采用电缆及长度

RS232 应采用屏蔽电缆。电缆长度：在通信速率低于 20kbit/s 时，RS232C 所直接连接的最大物理距离为 15m；在 9600kbit/s 时可以达到 50m。因此 RS232 不能进行长距离传输。

(4) RS232 接口标准的不足

RS232 接口标准的不足之处，主要有以下四点：

1）接口的信号电平值较高，易损坏接口电路的芯片，又因为与TTL电平不兼容，故需使用电平转换电路方能与TTL电路连接。

2）传输速率较低，在异步传输时，波特率为20kbit/s。

3）接口使用一根信号线和一根信号返回线而构成共地的传输形式，这种共地传输容易产生共模干扰，所以抗噪声干扰性弱。

4）传输距离有限，最大传输距离在50m左右。

2. RS485串行通信接口标准

针对RS232接口的不足，陆续出现了一些新的接口标准，RS485就是其中之一。

（1）RS485串行通信接口标准的特点

1）RS485的电气特性：逻辑“1”以两线间的电压差为+(2~6）V表示；逻辑“0”以两线间的电压差为-(2~6）V表示。接口信号电平比RS232降低了，不易损坏接口电路的芯片，且该电平与TTL电平兼容，可方便与TTL电路连接。

2）RS485的数据最高传输速率为10Mbit/s。

3）RS485接口是采用平衡驱动器和差分接收器的组合，抗共模干扰能力增强，即抗噪声干扰性好。

4）RS485接口的最大传输距离可达3000m。另外RS232接口在总线上只允许连接1个收发器，即单站能力。而RS485接口在总线上是允许连接多达128个收发器，即具有多站能力，这样用户可以利用单一的RS485接口方便地建立起设备网络。

5）RS485接口组成的半双工网络，一般只需两根连线（一般叫AB线），所以RS485接口均采用屏蔽双绞线传输。因此，RS485现已成为首选的串行通信接口标准。

（2）RS485物理接口

RS485接口组成的半双工网络，一般只需两根连线，所以RS485接口均采用屏蔽双绞线传输。RS485接口连接器采用DB9的9芯插头座，与智能终端RS485接口采用DB9（孔），与键盘连接的键盘接口RS485采用DB9（针）。普通的PC不带RS485接口，但是工业工控机基本都有此配置。在变频器、PLC中有的直接用接线端子进行双绞线连接，还有的使用水晶头RJ45或RJ11。

RS485端口接线有两线制和四线制两种方式，如图7-3、图7-4所示。接线图中的电阻R为终端电阻，终端电阻接在传输总线的两端。RS485需要2个终端电阻，其阻值要求

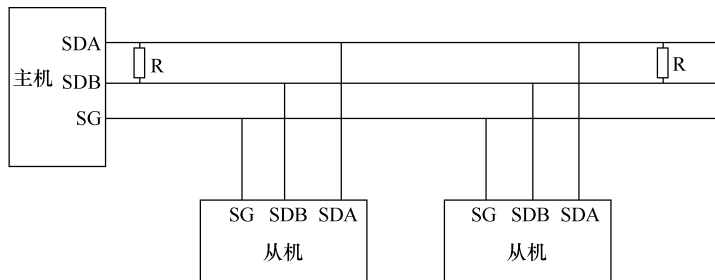



图7-3 两线制接线图

等于传输电缆的特性阻抗。在短距离传输时可不需接终端电阻，即一般在300m以下不需接终端电阻。

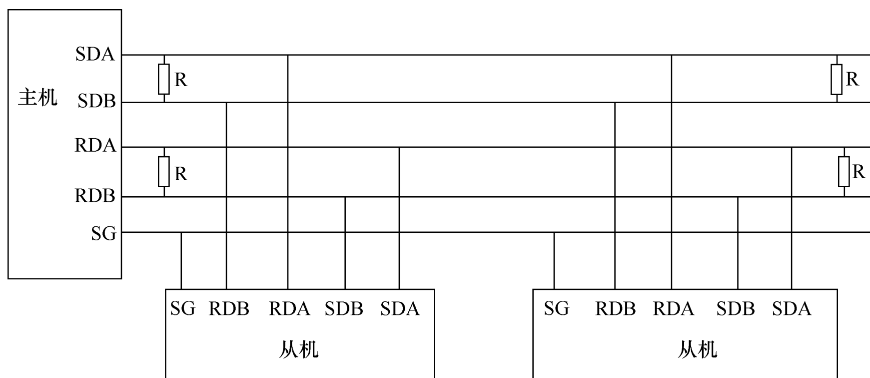



图7-4　四线制接线图

## 二、软件通信协议

习惯上将仅需要对传输的数据格式、传输速率等参数进行简单设定即可以实现数据交换的通信，称为“无协议通信”。而将需要安装专用通信工具软件，通过工具软件中的程序对数据进行专门处理的通信，称为“专用协议通信”。

1. 无协议通信

无协议通信是仅需要对数据格式、传输速率、起始/停止码等进行简单设定，PLC与外部设备间进行直接数据发送与接收的通信方式。

无协议通信一般需要通过特殊的PLC应用指令进行。在数据传输过程中，可以通过应用指令的控制进行数据格式的转换，如ASCII码与HEX（十六进制）的转换、帧格式的转换等。无协议通信的优点是外部设备不需要安装专用通信软件，因此，可以用于很多简单外设（如打印机、条形码阅读器等）的通信。

2. 专用协议通信

专用协议通信是指通过在外部设备上安装PLC专用通信工具软件，与外部设备之间进行数据交换的通信方式。

专用协议通信的优点是可以直接使用外部设备进行PLC程序、PLC的编程元件状态的读出、写入、编辑，特殊功能模块的缓冲存储器读写等；还可以通过远程指令控制PLC的运行与停止，或进行PLC的运行状态监控等。但外部设备应保证能够安装，且必须安装PLC通信所需要的专用工具软件。一般而言，在安装了专用的工具软件后，外部设备可以自动创建通信应用程序，无需PLC编程即可直接进行通信。

3. 双向协议通信

双向协议通信是通过通信接口，使用PLC通信模块的信息格式与外部设备进行数据发送与接收的通信方式。双向协议通信一般只能用于1∶1连接方式，并需要通过特殊的PLC应用指令进行。在数据传输过程中，可以通过应用指令的控制进行数据格式的转换，如

ASCII码与HEX（十六进制）的转换、帧格式的转换等。

双向协议通信数据在发送与接收时，一般需要进行“和”校验。双向协议通信的外部设备如果能够按照通信模块的信息格式发送/接收数据，则不需要安装专用通信软件。通信过程中，需要通过数据传送响应信息ACK、NAK等进行应答。

# 第二节　PLC网络通信

PLC的通信是实现工厂自动化的重要途径，是通过硬件和软件来实现的。硬件上有专门的通信接口和通信模块；软件上有现成的通信功能指令和上位通信程序。PLC的通信包括PLC之间，PLC与上位计算机和其他智能设备之间的通信。三菱公司FX系列PLC支持N: N网络通信、并行链接通信、计算机链接、无协议通信和可选编程端口等类型的通信。本节主要讲解通信模块和PLC与PLC之间的网络通信。

## 一、通信接口模块介绍

PLC的通信模块是用来完成与别的PLC、其他智能控制设备或计算机之间的通信的。以下简单介绍FX系列通信用功能扩展板、适配器及通信模块。

1. 通信扩展板FX2N-232-BD

如图7-5所示，FX2N-232-BD是以RS232C传输标准连接PLC与其他设备的接口板，如个人计算机、条形码阅读器或打印机等，可安装在FX2N系列PLC内部。其最大传输距离为15m，最高波特率为19200bit/s，利用专用软件可实现对PLC运行状态监控，也可方便地由个人计算机向PLC传送程序。

2. 通信接口模块FX2N-232IF

如图7-6所示，FX2N-232IF连接到FX2N系列PLC上，可实现与其他配有RS232C接口的设备进行全双工串行通信，例如个人计算机、打印机、条形码阅读器等。在FX2N系列PLC上最多可连接8块FX2N-232IF模块。用FROM/TO指令收发数据。最大传输距离为15m，最高波特率为19200bit/s，占用8个I/O点。数据长度、串行通信波特率等都可由特殊数据寄存器设置。

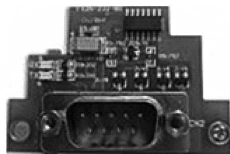


图7-5　FX2N-232-BD




图7-6　FX2N-232IF

3. 通信扩展板FX2N-485-BD

如图7-7所示，FX2N-485-BD用于RS485通信方式。它可以应用于无协议的数据传



送。FX2N-485-BD 在原协议通信方式时，利用 RS 指令在个人计算机、条形码阅读器、打印机之间进行数据传送。传送的最大传输距离为 50m，最高波特率为 19200bit/s。每一台 FX2N 系列 PLC 可安装一块 FX2N-485-BD 通信板，可以实现两台 FX2N 系列 PLC 之间的并联通信。

4. 通信扩展板 FX2N-422-BD

如图 7-8 所示，FX2N-422-BD 应用于 RS422 通信。可连接在 FX2N 系列 PLC 上，并作为编程或控制工具的一个端口。可用此接口在 PLC 上连接 PLC 的外部设备、数据存储单元和人机界面。利用 FX2N-422-BD 可连接两个数据存储单元（DU）或一个 DU 系列单元和一个编程工具，但一次只能连接一个编程工具。每一个基本单元只能连接一个 FX2N-422-BD，且不能与 FX2N-485-BD 或 FX2N-232-BD 一起使用。

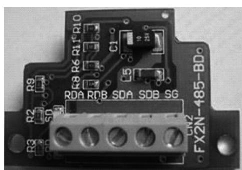



图 7-7　FX2N-485-BD



图 7-8　FX2N-422-BD

## 二、PLC 网络的 1∶1 通信方式

PLC 网络的 1∶1 通信（并行链接通信）是两台 PLC 之间直接通信，类似于计算机通信中的“点对点通信”。图 7-9 所示是两台 FX2N 主单元用两块 FX2N-485-BD 模块连接通信配置图。两台 PLC 之间通信，是利用通信参数设置主、从及通信方式。主站是对网络中其他设备发出初始化请求。从站只能响应主站的请求，不能发出初始化请求。这种通信方式，主站和从站是同时工作的，两个 PLC 都需要编写程序，数据的传送是通过 100 个继电器和 10 个 D 寄存器来完成。

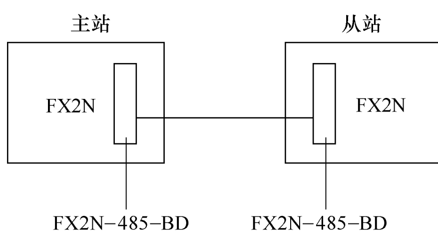



图 7-9　PLC 网络的 1∶1 通信方式

## 三、PLC 的 N∶N 网络通信

N∶N 通信方式又称为令牌总线通信方式，是采用令牌总线存取控制技术，在总线结构上的 PLC 子网上有 N 个站，它们地位平等，没有主站与从站之分，也可以说 N 个站都是主站，所以称之为 N∶N 通信方式。图 7-10 所示是 PLC 的 N∶N 网络通信系统配置。

N∶N 通信方式在物理总线上组成一个逻辑环，让一个令牌在逻辑环中按一定方向依次流动，获得令牌的站就取得了总线使用权，令牌总线存取控制方式限定每个站的令牌持有时间，保证在令牌循环一周时每个站都有机会获得总线使用权，并提供优先级服务。取得令牌的站采

用什么样的数据传送方式对实时性影响非常明显。如果采用无应答数据传送方式，取得令牌的站可以立即向目的站发送数据，发送结束，通信过程也就完成了。如果采用有应答数据传送方式，取得令牌的站向目的站发送完数据后并不算通信完成，必须等目的站获得令牌并把应答帧发给发送站后，整个通信过程结束。这样一来响应时间明显增长，而使实时性下降。

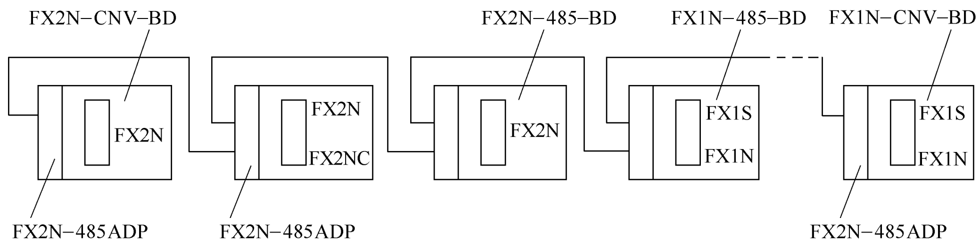



图 7-10　N∶N 网络通信系统配置

## 四、PLC 与控制设备之间的通信方式

PLC 与控制设备之间的通信方式实际是 1∶N 的主从总线通信方式，这是在 PLC 通信网络上经常采用的一种通信方式。在总线结构的 PLC 子网上有 N 个站，其中只有一个主站，其他皆是从站，把 PLC 作为主站，其余的设备可为从站，如图 7-11 所示。主站与任一从站可实现单向或双向数据传送，从站与从站之间不能互相通信，如果有从站之间的数据传送则通过主站中转。主站编写通信程序，可对从站进行读写控制，控制从站的运行和修改从站的参数，也可以读取从站参数及运行状态作为监控与显示信息显示在触摸屏或文本控制器上。从站只设定相关的通信协议参数。

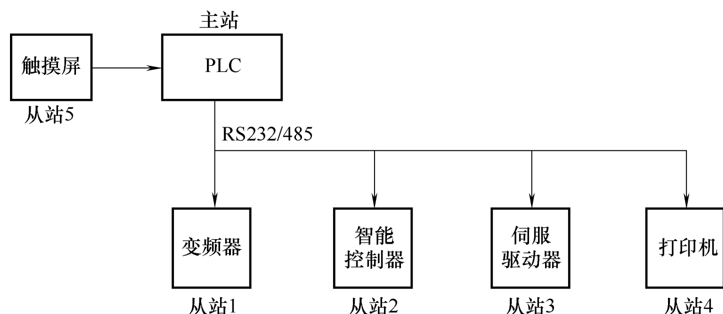



图 7-11　1∶N 的主从总线通信方式

**【名师点拨一】　PLC 的 1∶1 网络通信控制**

1. 系统控制要求

由两台 FX2N 系列 PLC 组成的 1∶1 通信系统中，控制要求如下：

1）主站点的输入 X0 ~ X7 的 ON/OFF 状态输出到从站点的 Y0 ~ Y7。



2）当主站点的计算结果（D0+D2）大于100时，从站点Y10导通。

3）从站点的M0～M7的ON/OFF状态输出到主站点的Y0～Y7。

4）从站点中D10的值被用来设置主站点中的定时器。

2. 操作步骤

步骤一：硬件配置。

根据控制要求分析，当两个FX系列PLC的主单元分别安装一块通信模块后，用单根双绞线连接即可，图7-12为两台FX2N主单元用两块FX2N-485-BD模块连接通信配置图。

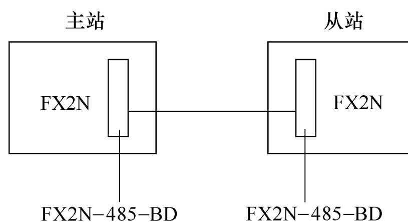



图7-12 1:1通信连接图

步骤二：系统软件设计。

PLC通信的基本思想是构建硬件连接网络，通过编写程序（梯形图），读取各站点PLC的公用软元件数据即可。

（1）相关标志和数据寄存器

对于FX1N/FX2N/FX2NC系列PLC，使用N:N网络通信辅助继电器，其中M8038用来设置网络参数，M8183在主站点通信错误时为ON，M8184～M8190在从站点产生错误时为ON（第1个从站点M8184，第7个从站点M8190），M8191在与其他站点通信时为ON。

数据寄存器D8176设置站点号，0为主站点号，1～7为从站点号。D8177设定从站点的总数，设定值1为1个从站点，2为2个从站点。D8178设定刷新范围，0为模式0（默认值），1为模式1，2为模式2。D8179主站设定通信重试次数，设定值为0～10。D8180设定主站点和从站点间通信驻留时间，设定值为5～255，对应时间为50～2550ms。

在下面的通信程序中采用通信模式1，此处给出模式1情况下（FX1N/FX2N/FX2NC），各站点中的公用软元件号，如表7-2所示。

**表7-2 模式1情况下的公用软元件号**

| 站 点 号 | 软元件号 | |
| --- | --- | --- |
| | 位软元件（M）32点 | 字软元件（D）4点 |
| 第0号 | M1000～M1031 | D0～D3 |
| 第1号 | M1064～M1095 | D10～D13 |
| 第2号 | M1128～M1159 | D20～D23 |
| 第3号 | M1192～M1223 | D30～D33 |
| 第4号 | M1256～M1287 | D40～D43 |
| 第5号 | M1320～M1351 | D50～D53 |
| 第6号 | M1384～M1415 | D60～D63 |
| 第7号 | M1448～M1479 | D70～D73 |

（2）通信程序编制

编程时设定主站和从站，应用特殊继电器在两台PLC间进行自动的数据传送，很容易实现数据通信连接。主站和从站的设定由M8070和M8071设定，另外并行连接有一般和高速两种模式，由M8162的接通与断开来设定。该配置选用一般模式（特殊辅助继电器M8162：OFF）时，主从站的设定和通信用辅助继电器和数据寄存器如图7-13所示。

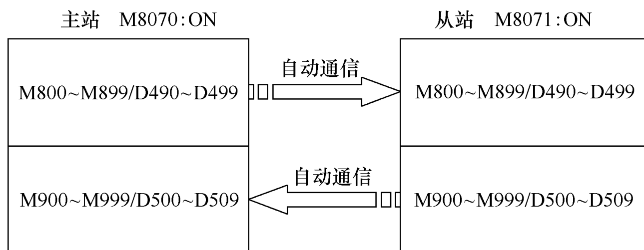



图7-13 一般模式下通信连接

1）根据控制要求，主站点梯形图如图7-14所示。

2）根据控制要求，从站点梯形图如图7-15所示。

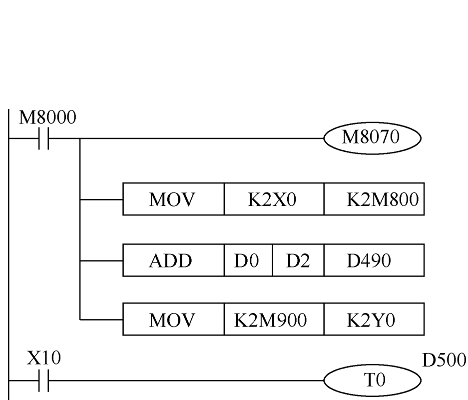



图7-14 1:1通信主站点梯形图

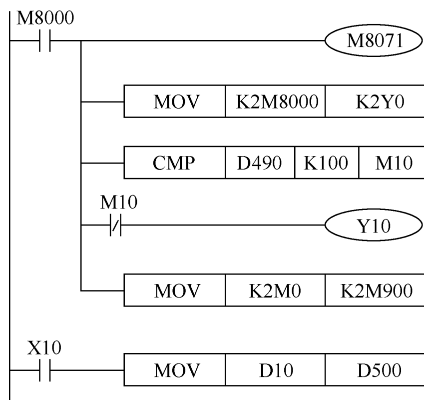



图7-15 1:1通信从站点梯形图

**【名师点拨二】 PLC的1:2网络通信控制**

1. 系统控制要求

三台PLC相互通信系统控制要求如下：

1）主站点的输入点X0～X3输出到从站点1和2的输出点Y10～Y13。

2）从站点1的输入点X0～X3输出到主站点和从站点2的输出点Y14～Y17。

3）从站点2的输入点X0～X3输出到主站点和从站点1的输出点Y20～Y23。



2. 操作步骤

步骤一：网络硬件配置及电路。

根据控制要求分析，系统硬件结构如图7-16所示，该系统有3个站点，其中一个主站，两个从站，每个站点的PLC都连接一个FX2N-485-BD通信板，通信板之间用单根双绞线连接。刷新范围选择模式1，重试次数选择3，通信超时选50ms。

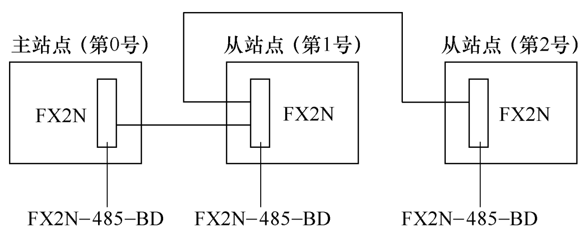



图7-16　3∶3通信硬件连接图

步骤二：通信程序。

1）主站点的梯形图如图7-17所示。




图7-17　主站点梯形图

2）从站点1的梯形图如图7-18所示。




图7-18　从站点1梯形图

3）从站点2的梯形图如图7-19所示。

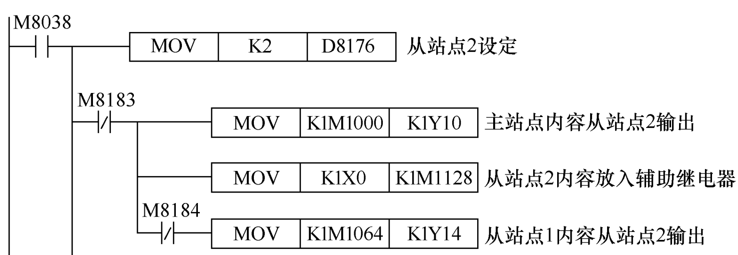



图 7-19　从站点 2 梯形图

# 第八章
# PLC 控制系统的应用实例

## 实例一　CA6140 车床的 PLC 改造

### 一、设备控制要求

CA6140 车床共有三台电动机，控制要求如下：

1）主轴电动机 M1。带动主轴旋转和刀架作进给运动，由交流接触器 KM1 控制，热继电器 FR1 作过载保护，FU1 及断路器 QF 作短路保护。

2）冷却泵电动机 M2。输送切削液，由交流接触器 KM2 控制，热继电器 FR2 作过载保护，FU2 作短路保护。

3）刀架快速移动电动机 M3。拖动刀架快速移动，由交流接触器 KM3 控制，由于刀架移动是短时工作，用点动控制，未设过载保护，FU2 兼作短路保护。

4）CA6140 车床辅助控制有：刻度照明灯、照明灯。

### 二、设备控制实施方案

1. 分配 I/O 地址通道

分析控制要求，首先确定 I/O 个数，进行 I/O 分配。本实例需要 10 个输入点，6 个输出点，如表 8-1 所示。

**表 8-1　PLC 的 I/O 配置**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 钥匙开关 | SB | X0 | Y0 | QF | QF 的线圈 |
| 停止 M1 | SB1 | X1 | Y1 | KM1 | 控制 M1 |
| 起动 M1 | SB2 | X2 | Y2 | KM2 | 控制 M2 |
| 起动 M3 | SB3 | X3 | Y3 | KM3 | 控制 M3 |
| 控制 M2 | SA1 | X4 | Y4 | HL | 刻度照明 |
| 照明灯开关 | SA2 | X5 | Y10 | EL | 工作照明 |
| 皮带罩防护开关 | SQ1 | X6 | | | |

（续）

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 电气箱防护开关 | SQ2 | X7 | | | |
| M1 过载保护 | FR1 | X10 | | | |
| M2 过载保护 | FR2 | X11 | | | |

2. 绘制电气接线原理图

分析控制要求分析，结合 I/O 地址分配，设计并绘制 PLC 系统接线原理图，如图 8-1 所示。

**重点提示：**

1）设计电路原理图时，应充分理解控制要求，做到原理设计合理、功能完善并符合实际设备的要求。

2）PLC 继电器输出所驱动的负载额定电压为 110V、24V、6V。

3）为了更加保证控制功能的合理性和可靠性，在输入硬接线时，将热继电器 FR1 和 FR2 的常开触头作为控制信号接入 PLC；在输出硬接线时，将热继电器 FR1 和 FR2 的常闭触头串联在各线圈的回路中。

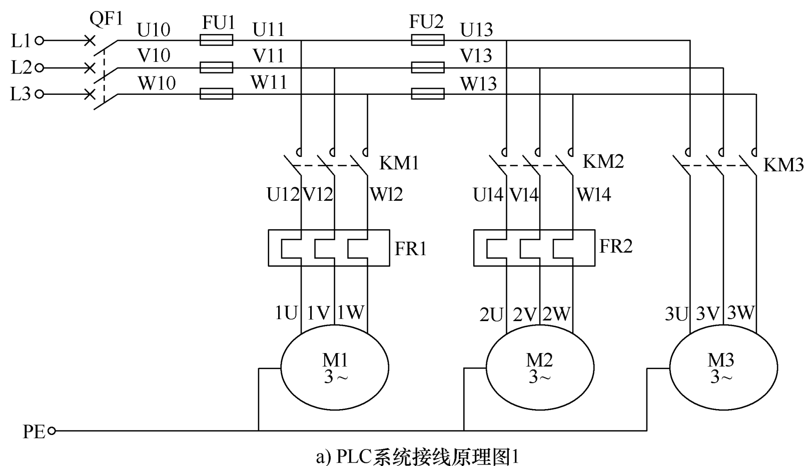
3. 材料准备

根据电气接线原理图，列出设备所需要的材料清单，如表 8-2 所示。

**重点提示：**

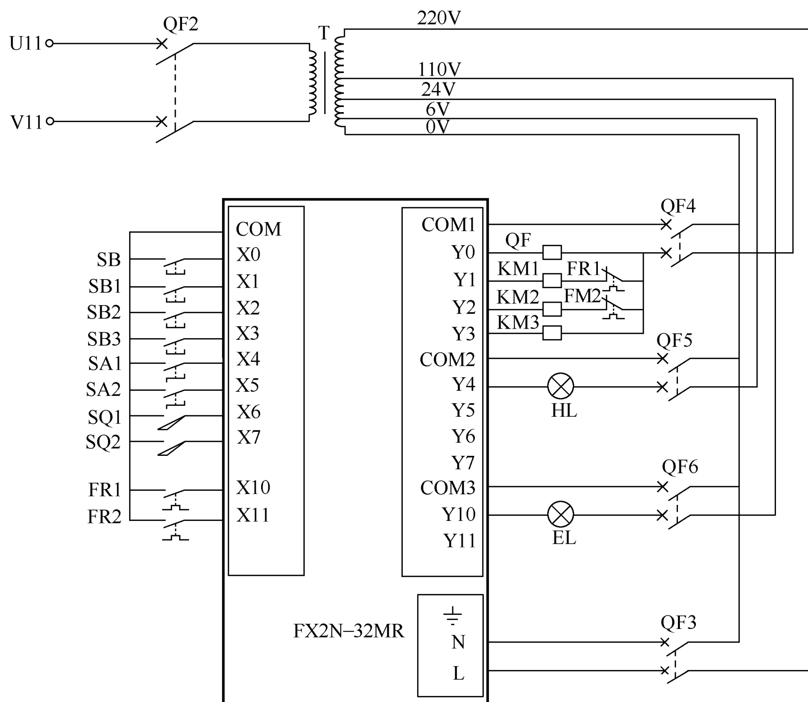
1）选择电器元件时，要根据设备的操作任务和操作方式，确定所需元件，并考虑元件的数量、型号、额定参数和安装要求。

2）检测元件的质量好坏。




a) PLC系统接线原理图1

图 8-1　PLC 接线图




b) PLC系统接线原理图2

图 8-1　PLC 接线图（续）

3）PLC 的选型要合理，在满足要求的情况下尽量减少 I/O 的点数，以降低硬件的成本。

**表 8-2　材料清单**

| 序号 | 分类 | 名称 | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 工具 | 电工工具 | | 1 套 | |
| 2 | | 万用表 | MF47 型 | 1 块 | |
| 3 | | PLC | FX2N-32MR | 1 台 | |
| 4 | | 计算机 | 自定 | 1 台 | |
| 5 | | 三菱编程软件 | GXDeveloper Ver. 8 | 1 套 | |
| 6 | | 配电盘 | 500mm × 600mm | 1 块 | |
| 7 | | 导轨 | C45 | 2 米 | |
| 8 | 器材 | 断路器 | AM2-40，20A | 1 只 | |
| 9 | | 断路器 | DZ47-63/2P，3A | 4 个 | |
| 10 | | 断路器 | DZ47-63/2P，6A | 1 个 | |
| 11 | | 交流接触器 | CJX1-32，线圈电压 110V | 1 个 | |
| 12 | | 交流接触器 | CJX1-9，线圈电压 110V | 2 个 | |
| 13 | | 热继电器 | JRS1-09/25，15.4A | 1 个 | |
| 14 | | 热继电器 | JRS1-09/25，0.32A | 1 个 | |

（续）

| 序号 | 分类 | 名称 | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 器材 | 按钮 | LAY3 | 2个 | |
| 16 | | 按钮 | LAY3-01ZS/1 | 1个 | |
| 17 | | 按钮 | LA9 | 1个 | |
| 18 | | 钥匙开关 | LAY3-01Y/2 | 1个 | |
| 19 | | 位置开关 | JWM6-11 | 2只 | |
| 20 | | 端子排 | TB-2020 | 1根（20节） | |
| 21 | | 控制变压器 | JBK3-100，380/220、110、24、6 | 1只 | |
| 22 | | 信号灯 | ZSD-0，6V | 1只 | |
| 23 | | 机床照明灯 | JC11 | 1只 | |
| 24 | | 熔断器 | RT14-32，20A，6A | 6只 | |
| 25 | 耗材 | 铜塑线 | BVR/2.5mm$^2$ | 20m | 主电路 |
| 26 | | 铜塑线 | BVR/0.5mm$^2$ | 30m | 控制电路 |
| 27 | | 紧固件 | 螺钉（型号自定） | 若干 | |
| 28 | | 线槽 | 25mm×35mm | 若干 | |
| 29 | | 号码管 | | 若干 | |

4. 安装与接线

根据图8-1所示的PLC控制变频器接线图，按照以下安装电路的要求在控制配线板上进行元件及线路安装。

1）检查元件。根据表8-2配齐元件，检查元件的规格是否符合要求，并用万用表检测元件是否完好。

2）固定元件。检查元件的质量好坏，并固定好所需元件。

3）配线安装。按照配线原则和工艺要求，进行配线安装。

4）自检。对照接线图检查接线是否无误，再使用万用表检测电路的阻值是否与设计相符。

**重点提示：**

1）将所有元件装在一块配电板上，做到布局合理、安装牢固、符合安装工艺规范。

2）根据接线原理图配线，做到接线正确、牢固、美观。

3）I/O线和动力线应分开走线，并保持距离。数字量信号一般采用普通电缆就可以；模拟信号线和高速信号线应采用屏蔽电缆，并做好接地要求。

4）安装PLC应远离强干扰源，并可靠的接地，最好和强电的接地装置分开，接地线的截面积应大于2mm$^2$，接地点与PLC的距离应小于50cm。

5. 程序设计

程序设计时应符合下列原则：

1）程序设计要合理，且不改变原来的操作习惯和顺序。

2）程序实现应保持机床原有的功能不变。

3）程序设计简洁、易读、符合控制要求。

C6140A 车床的 PLC 梯形图程序，如图 8-2 所示。

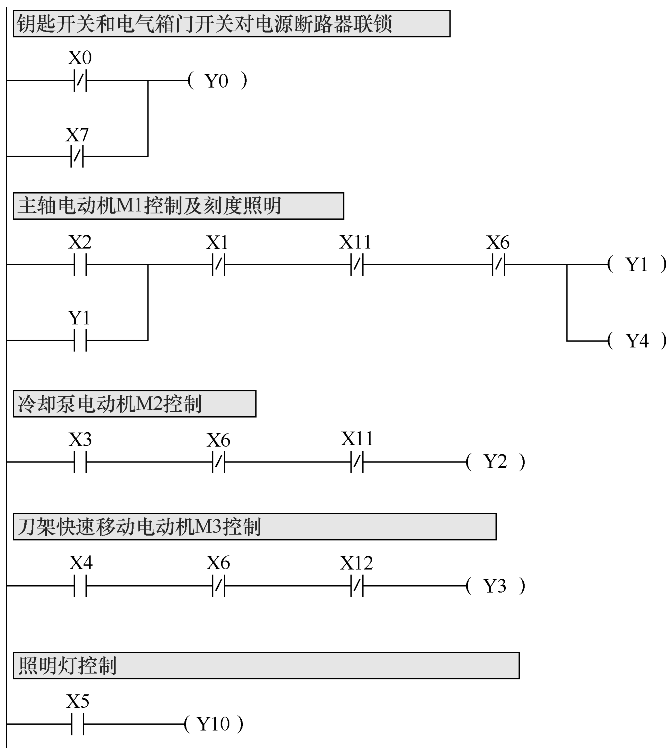



图 8-2 PLC 梯形图程序

6. 程序下载与调试

熟练的操作编程软件，能正确将编制的程序输入 PLC；按照被控设备的要求进行调试、修改，达到设计要求。

**重点提示：**

1）通电前使用万用表检查电路的正确性，确保通电成功。

2）调试程序先对程序进行模拟调试，对系统各种工作要求和方式都要逐一检查，不能遗漏，直到符合控制要求。

3）现场调试中，接入实际的信号和负载时，应充分考虑各种可能的情况，做到认真、仔细、全面地完成现场调试。

4）注意人身和设备的安全。

# 实例二 X62W 万能铣床的 PLC 改造

## 一、设备控制要求

X62W 万能铣床的主运动是主轴带动铣刀的旋转运动，主要由底座、床身、悬梁、主轴、刀杆支架、工作台、回转盘、横溜板和升降台等组成。其运动形式如下：

1. 主运动

主轴带动铣刀的旋转运动，有顺铣和逆铣两种加工方式，要求主轴电动机能够正、反转，实际中不需频繁改变转向，故采用组合开关来控制主轴电动机的正、反转；采用电磁离合器制动以实现准确停车；主轴变速由变速箱实现，无需电气调速；为了操作方便，要求采用两地控制。

主轴电动机 M1 提供主轴带动铣刀旋转的动力，由交流接触器 KM1 控制其运转，旋转方向由组合开关 SA3 来选择，热继电器 FR1 作过载保护，熔断器 FU1 作短路保护。

2. 进给运动

铣床的工作台要求有前后、左右、上下 6 个方向的进给运动和快速移动，要求电动机能正、反转；为扩大加工能力，在工作台上可加装圆形工作台，由进给电动机经传动机构

驱动；为保证机床和刀具的安全，在铣削加工时，任何时刻工件只允许有一个方向的进给运动，采用机械手柄和行程开关相配合的方式实现6个方向的联锁；并且要求主轴旋转后，才允许进给运动，进给停止后主轴才能停止。

进给电动机M2提供进给运动和快速移动的动力，由交流接触器KM3、KM4控制M2正反转，热继电器FR3作过载保护，熔断器FU2作短路保护。

3. 辅助运动

工作台的快速移动，由电磁离合器控制；主轴和进给的变速冲动，是为了保证变速后齿轮的啮合良好，由电动机做瞬时点动来实现。主轴制动电磁离合器，由停止按钮SB5、SB6控制；进给和快速移动由交流接触器KM2来控制。

4. 冷却泵电动机M3

输送冷却液，由组合开关QS2控制电动机运转，热继电器FR2作过载保护；熔断器FU1兼作短路保护。

## 二、设备控制实施方案

1. 分配I/O地址通道

分析控制要求，首先确定I/O个数，进行I/O分配。本实例需要15个输入点，7个输出点，如表8-3所示。

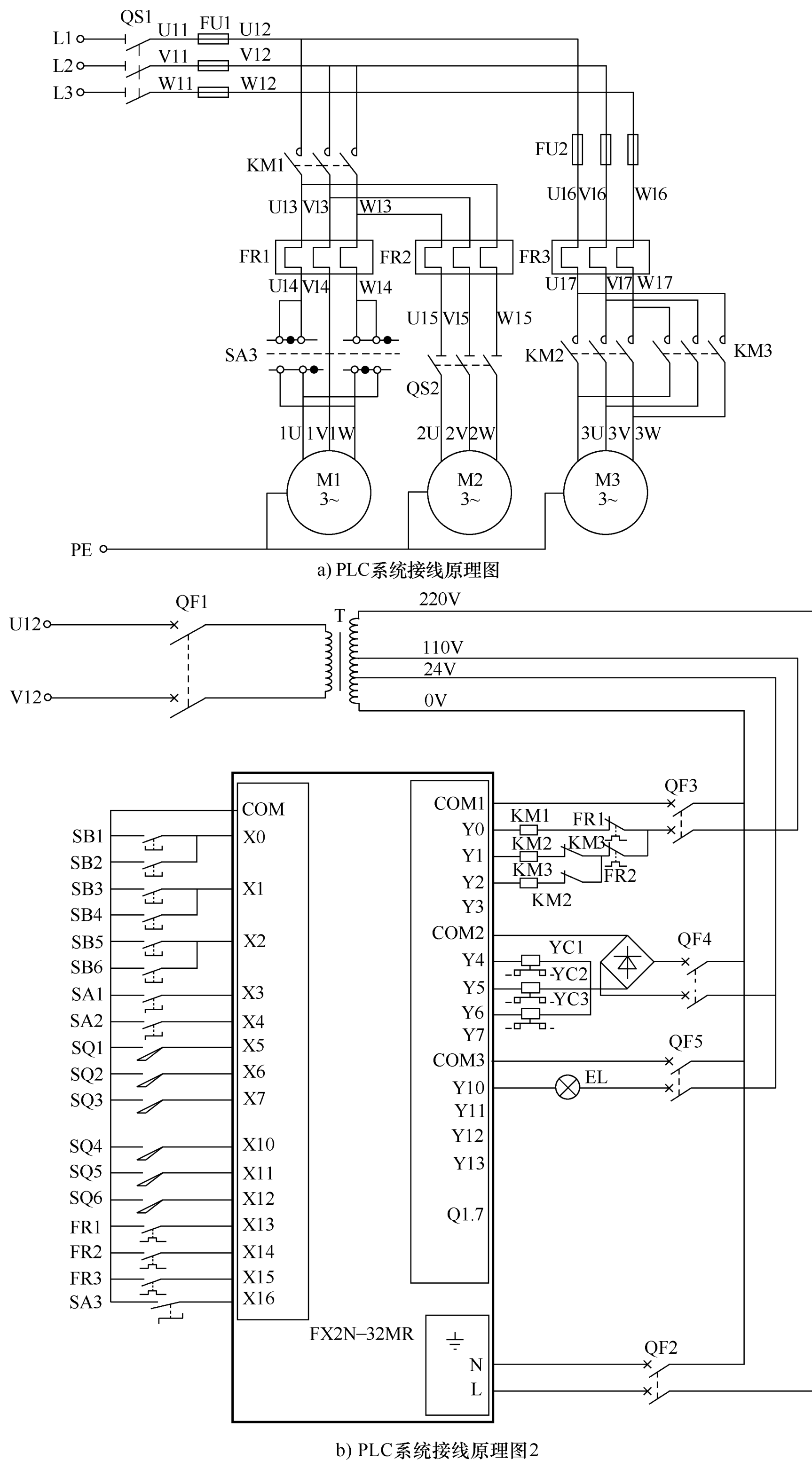
**表8-3　I/O分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 主轴电动机M1起动 | SB1、SB2 | X0 | Y0 | KM1 | 控制主轴电动机M1起停 |
| 快速进给点动 | SB3、SB4 | X1 | Y1 | KM2 | 控制进给电动机M2正转 |
| 主轴电动机M1停止、制动 | SB5、SB6 | X2 | Y2 | KM3 | 控制进给电动机M2反转 |
| 换刀开关 | SA1 | X3 | Y4 | YC1 | 主轴电动机M1制动控制 |
| 圆形工作台开关 | SA2 | X4 | Y5 | YC2 | M2正常进给 |
| 主轴冲动开关 | SQ1 | X5 | Y6 | YC3 | M2快速进给 |
| 进给冲动开关 | SQ2 | X6 | Y10 | EL | 工作照明灯 |
| M2正、反转及联锁 | SQ3 | X7 | | | |
| M2正、反转及联锁 | SQ4 | X10 | | | |
| M2正、反转及联锁 | SQ5 | X11 | | | |
| M2正、反转及联锁 | SQ6 | X12 | | | |
| M1过载保护 | FR1 | X13 | | | |
| M2过载保护 | FR2 | X14 | | | |
| M3过载保护 | FR3 | X15 | | | |
| 主轴电动机M1正、反转 | SA3 | X16 | | | |

2. 绘制电气接线原理图

根据控制要求分析，设计并绘制PLC系统接线原理图，如图8-3所示。

重点提示同实例一。




a) PLC系统接线原理图



b) PLC系统接线原理图2

图 8-3　PLC 接线图

3. 材料准备

根据电气接线原理图，列出设备所需要的材料清单，如表 8-4 所示。

**重点提示：**

1）选择电器元件时，要根据设备的操作任务和操作方式，确定所需元件，并考虑元件的数量、型号、额定参数和安装要求。

2）检测元件的质量好坏。

3）PLC 的选型要合理，在满足要求的情况下尽量减少 I/O 的个数，以降低硬件的成本。

**表 8-4　材料清单**

| 序号 | 分类 | 名称 | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 工具 | 电工工具 | | 1 套 | |
| 2 | 器材 | 万用表 | MF47 型 | 1 块 | |
| 3 | | PLC | FX2N-32MR | 1 台 | |
| 4 | | 计算机 | 自定 | 1 台 | |
| 5 | | 三菱编程软件 | GXDeveloper Ver. 8 | 1 套 | |
| 6 | | 配电盘 | 600mm×800mm | 1 块 | |
| 7 | | 导轨 | C45 | 3 米 | |
| 8 | | 组合开关 | HZ10-60/3 | 1 只 | |
| 9 | | 组合开关 | HZ10-10/3 | 1 个 | |
| 10 | | 组合开关 | HZ3-133 | 1 只 | |
| 11 | | 断路器 | DZ47-63/2P，5A | 5 个 | |
| 12 | | 交流接触器 | CJX1-25，线圈电压 110V | 1 个 | |
| 13 | | 交流接触器 | CJX1-9，线圈电压 110V | 4 个 | |
| 14 | | 热继电器 | JRS1-09/25，16A | 1 个 | |
| 15 | | 热继电器 | JRS1-09/25，3.4A | 1 个 | |
| 16 | | 热继电器 | JRS1-09/25，0.43A | 1 个 | |
| 17 | | 按钮 | LA2-11 | 6 个 | |
| 18 | | 换刀开关 | LS2-3A | 1 个 | |
| 19 | | 电磁离合器 | B1DL-Ⅲ | 1 个 | |
| 20 | | 电磁离合器 | B1DL-Ⅱ | 2 个 | |
| 21 | | 行程开关 | LX3-11K | 4 只 | |
| 22 | | 行程开关 | LX3-131 | 2 只 | |
| 23 | | 熔断器 | RL1-60/50A | 3 只 | |
| 24 | | 熔断器 | RL1-15/10A | 3 只 | |
| 25 | | 端子排 | TB-2020 | 3 根（60 节） | |
| 26 | | 控制变压器 | JBK3-150，380/220、110、24、6 | 1 | |
| 27 | | 信号灯 | XD1，6V | 2 只 | |
| 28 | | 机床照明灯 | JC11 | 1 只 | |
| 29 | 耗材 | 铜塑线 | BVR/4mm$^2$ | 30m | 主电路 |
| 30 | | 铜塑线 | BVR/2.5mm$^2$ | 30m | 主电路 |
| 31 | | 铜塑线 | BVR/0.5mm$^2$ | 40m | 控制电路 |
| 32 | | 紧固件 | 螺钉（型号自定） | 若干 | |
| 33 | | 线槽 | 25mm×35mm | 若干 | |
| 34 | | 号码管 | | 若干 | |



4. 安装与接线

具体安装要求同实例一，这里不再赘述。

5. 程序设计

X62W 铣床的 PLC 梯形图程序，如图 8-4 所示。

6. 程序输入与调试

操作编程软件正确地将编制的程序输入 PLC，并按照被控设备的要求进行调试、修改，达到设计要求。

**重点提示：**

1）通电前使用万用表检查电路的正确性，确保通电成功。

2）调试程序先对程序进行模拟调试，对系统各种工作要求和方式都要逐一检查，不

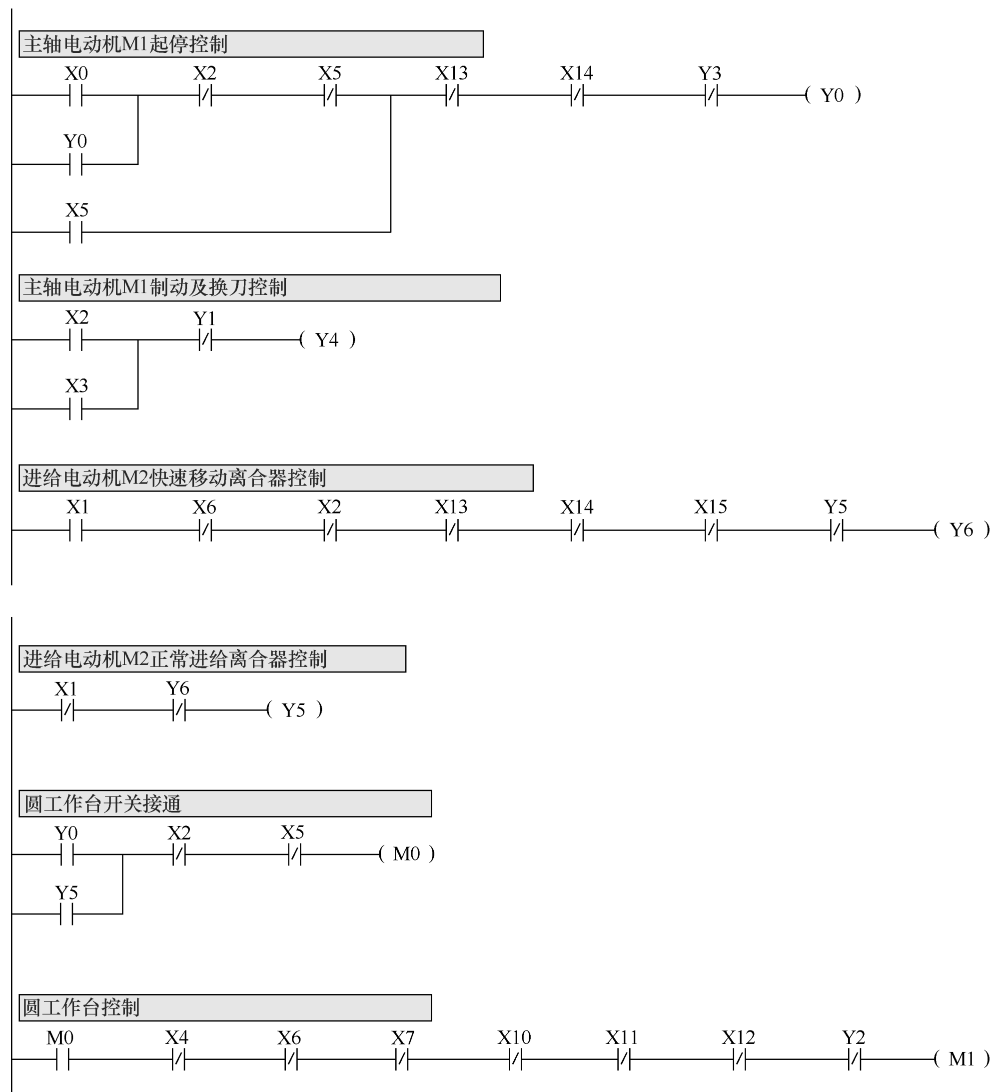



图 8-4　X62W 铣床的 PLC 梯形图程序

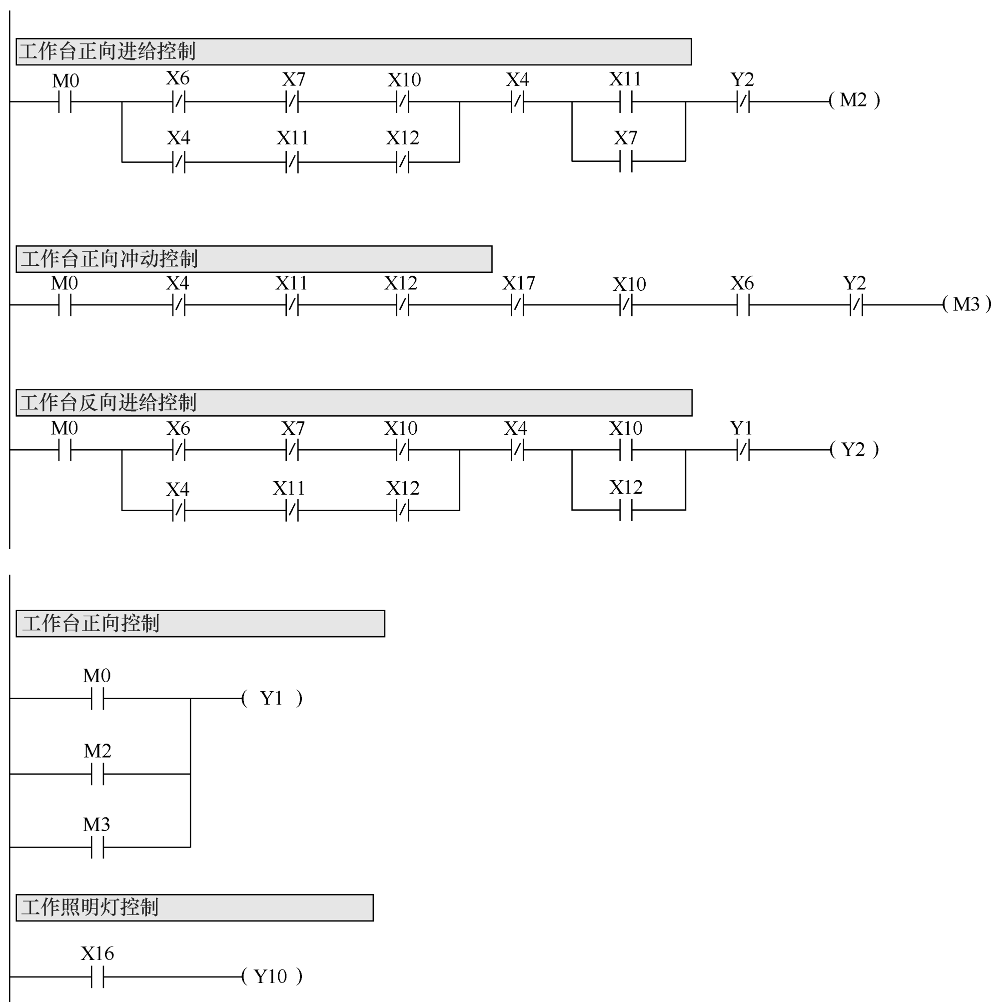



图 8-4　X62W 铣床的 PLC 梯形图程序（续）

能遗漏，直到符合控制要求。

3）现场调试中，接入实际的信号和负载时，应充分考虑各种可能的情况，做到认真、仔细、全面地完成现场调试。

4）注意人身和设备的安全。

# 实例三　PLC 控制变频器

## 一、设备控制要求

在很多生产设备中，例如在沥青搅拌站（见图 8-5）的生产流程中，经常要用 PLC 来控制变频器，进而实现对电动机的正、反转控制和速度控制，控制要求如下。

1）按下烘干按钮 SB1 时，变频器控制烘干滚筒电动机以频率 30Hz 正转 30s，然后再



以频率 30Hz 反转 50s，如此往复循环；按下停止按钮 SB2 时，变频器控制电动机停止。

2）电动机功率为 30kW，设备要求停机时快速要快，由于设备的惯性很大，故需外加制动单元和制动电阻。



图 8-5　沥青搅拌站现场

## 二、设备控制实施方案

1. PLC 选型和分配 I/O 地址通道

分析控制要求，系统共需要输入点 2 个，输出点 2 个，根据其控制要求及 I/O 点，对此系统进行分析，我们将选用型号为 FX1S-10MR-001 型 PLC 控制该系统。I/O 地址分配表，如表 8-5 所示。

**表 8-5　I/O 分配表**

| 输入 | | | 输出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 烘干按钮 | SB1 | X000 | Y000 | | 正转 |
| 停止按钮 | SB2 | X001 | Y001 | | 反转 |

2. 设计绘制电气接线原理图

分析控制要求，结合 I/O 地址分配，设计并绘制 PLC 系统接线原理图，如图 8-6 所示。

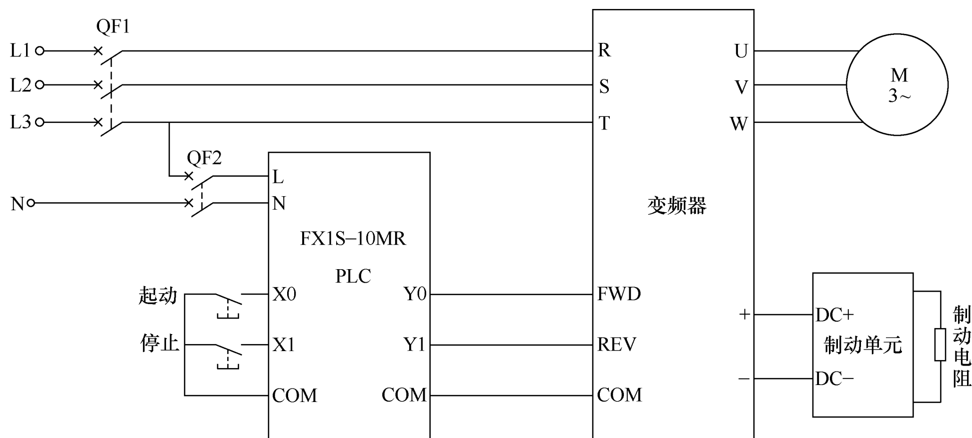



图 8-6　电气原理图

3. 变频器选型与参数设置

分析控制要求可知，电动机功率为30kW，而且要求停止快速，故应采用制动单元。变频器选用广东普雷斯顿有限公司生产的MC100-037G/045P-4型变频器，制动单元型号为B5-054，制动电阻值为16Ω，功率为9.6kW。具体变频器参数设置如表8-6所示。

**表8-6　变频器参数设置**

| 功　能　码 | 名　　称 | 设　定　值 |
|---|---|---|
| P0.01 | 频率给定通道 | 0(面板模拟电位器给定) |
| P0.03 | 运行命令通道 | 1(端子运行命令通道) |
| P0.04 | 运转方向设定 | 00(运行正反转) |
| P0.17 | 加速时间 | 5s |
| P0.18 | 减速时间 | 5s |

4. 设计梯形图程序

根据“起-保-停”设计方法，沥青搅拌站控制系统的梯形图，如图8-7所示。

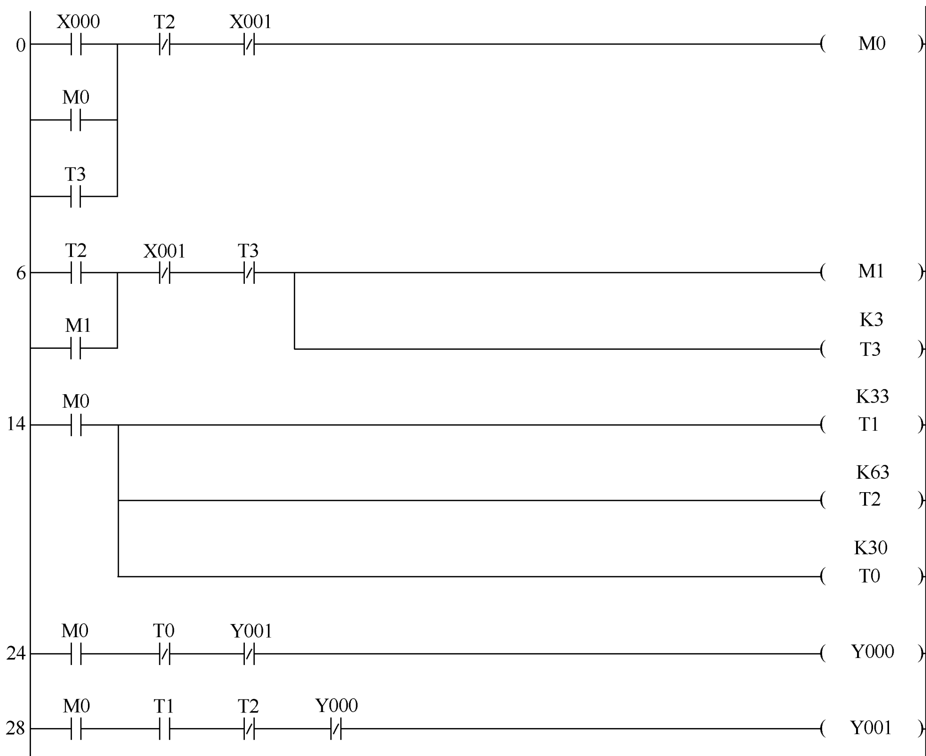



图8-7　沥青搅拌站控制系统的梯形图程序

5. 安装与接线

根据图8-6所示的PLC控制变频器接线图，按照以下安装电路的要求在配线板上进行元件及线路安装。

1）检查元件。检查元件的规格是否符合要求，并用万用表检测元件是否完好。

2）固定元件。检查元件的质量好坏，并固定好所需元件。

3）配线安装。按照配线原则和工艺要求，进行配线安装。

4）自检。对照接线图检查接线是否无误，再使用万用表检测电路的阻值是否与设计相符。

6. 变频器的参数设置

合上电源开关，根据表 8-6 进行变频器的参数设置，具体操作方法及步骤可参见变频器说明书中介绍的有关参数设置，在此不再赘述。

7. 程序下载与调试

1）将编制好的梯形图下载到 PLC 中。

2）将录入的程序传送到 PLC，并进行空载调试，检查是否达到了控制要求，然后再带负载调试，直至运行符合任务要求方为成功。

**重点提示：**

1）通电前使用万用表检查电路的正确性，确保通电成功。

2）调试程序先对程序进行模拟调试，对系统各种工作要求和方式都要逐一检查，不能遗漏，直到符合控制要求。

3）现场调试中，接入实际的信号和负载时，应充分考虑各种可能的情况，做到认真、仔细、全面地完成现场调试。

4）注意人身和设备的安全。

# 实例四　PLC 与变频器在货物升降机系统中的应用

## 一、货物升降机的基本结构及控制要求

1. 小型货物升降机的基本结构

升降机的升降过程是利用电动机正反转卷绕钢丝绳带动吊笼上下运动来实现。一般由电动机、滑轮、钢丝绳、吊笼以及各种主令电器等组成，其基本结构如图 8-8 所示。SQ1 ~ SQ4 可以是行程开关，也可以是接近开关，用于位置检测，起限位作用。

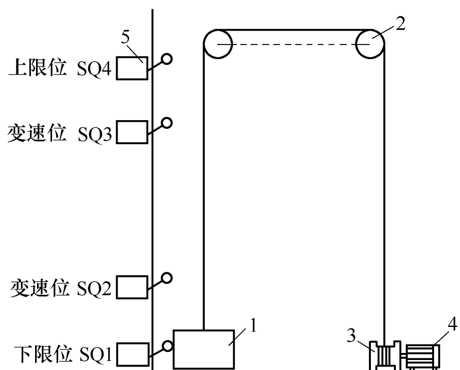


图 8-8　升降机结构图
1—吊笼　2—滑轮　3—卷筒
4—电动机　5—限位开关 SQ1 ~ SQ4

2. 小型货物升降机的系统控制要求

吊笼在升降过程是一个多段速控制过程，要求有一个由慢到快，然后再由快到慢的过程，即起动时缓慢升速，达到一定速度后快速运行，当接近终点时，先减速再缓慢停车，因此，升降过程划分为三个行程区间，各区间段的升降速度如图 8-9 所示。

（1）上升运行

当升降机的吊笼位于下限位 SQ1 处，按下提升起动按钮 SB2，吊笼以较低的第一速度

（10Hz）平稳起动，当运行到预定位置 SQ2 时，以第二速度（30Hz）快速运行，等到达预定位置 SQ3 时，升降机开始降速，以第一速度（10Hz）运行，直到碰到上限开关 SQ4 处实现平稳停车。

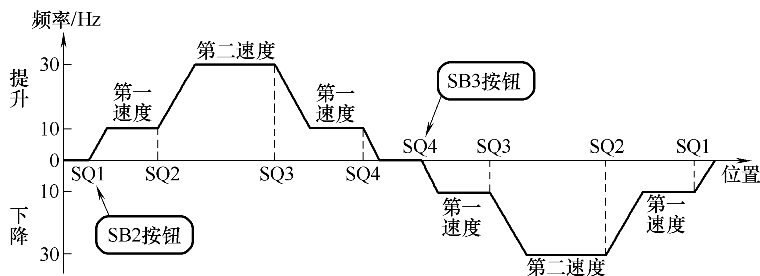



图 8-9　升降机升降速度示意图

（2）下降运行

当升降机的吊笼位于上限位 SQ4 处，按下下降按钮 SB3，吊笼以较低的第一速度（10Hz）平稳缓慢下降运行，当下降到预定位置 SQ3 时，以第二速度（30Hz）快速下降运行，等到达预定位置 SQ2 时，升降机开始降速，以第一速度（10Hz）下降运行，直到碰到下限开关 SQ1 处实现平稳停车。

（3）急停状态

当升降机在运行过程中，发生紧急情况时，可按下急停按钮 SB1，升降机会停留在任意位置。

## 二、货物升降机控制系统的实施方案

1. 系统的硬件配置

（1）变频器的选择

正确选择变频器对于传动控制系统的正常运行是非常关键的，首先要明确使用变频器的目的，按照生产机械的类型、调速范围、速度响应、控制精度、起动转矩等要求，充分了解变频器所驱动的负载特性，决定采用什么功能的通用变频器构成控制系统，然后决定选用哪种控制方式最合适。所选用的通用变频器应是既要满足生产工艺的要求，又要在技术经济指标上合理。

本实例从使用稳定性和经济性等因素考虑，选用三菱 FR-A740 型变频器，7.5kW，外加制动电阻。

（2）PLC 的选择

PLC 的选择主要依据系统所需的控制点数及 PLC 的指令功能是否能满足系统控制要求，以及考虑稳定性、经济性等因素。

本实例可根据控制系统原理图中 PLC 的 I/O 点数及其他综合性能，选择三菱 FX2N-32MR 系列 PLC。

（3）制动电阻的选择

本实例属于位能负载，在负载下放时，异步电动机将处于再生发电制动状态，实现快速停车或准确停车；在位能负载下放时，电动机制动较快时，直流回路储能电容器的电压会上升很高，过高的电压会使变频器中的“制动过电压保护”动作，甚至造成变频器损坏。因此，需要选择外接制动电阻来耗散电动机再生的这部分能量。

1）制动电阻值的确定。

目前，确定制动电阻值的方法有很多种，从工程角度来说，准确计算法在实际计算中常常会感到困难，主要原因就是部分参数无法确定。目前常用的方法就是估算法，实践证明，当放电电流等于电动机额定电流的一半时，就可以得到与电动机的额定转矩相同的制动转矩了，因此制动电阻值的取值范围为

$$\frac{U_D}{I_{MN}} < R \leqslant \frac{2U_D}{I_{MN}}$$

式中，$U_D$是制动电压准位；$I_{MN}$是电动机的额定电流。

2）制动电阻容量的确定。

在实际拖动系统中进行制动的时间比较短，在短时间内，制动电阻的温升不足以达到稳定温升。因此，决定制动电阻容量的原则是，在制动电阻的温升不超过其允许数值（即额定温升）的前提下，应尽量减小容量，粗略算法如下：

$$P_B = \lambda PED\% = \lambda \frac{U_D^2}{R} ED\%$$

式中，$\lambda = 1 - \frac{|R - R_B|}{R_B}$是变频器降额使用系数；$ED\%$是制动使用率；$R$是实际选用的电阻阻值。

通常，在变频器的使用手册中都有制动电阻的选配表，可作为选用参考。例如，三菱FR-A740型小功率变频器制动电阻的选配如表8-7所示。

**表8-7　三菱FR-A740型小功率变频器制动电阻的选配表**

| 变频器电压等级 | 变频器功率/kW | 制动电阻值/Ω | 制动电阻功率/W |
|---|---|---|---|
| 220V系列 | 0.75 | 200 | 120 |
| | 1.5 | 100 | 300 |
| | 2.2 | 70 | 300 |
| | 3.7 | 40 | 300 |
| | 5.5 | 30 | 500 |
| 380V系列 | 0.75 | 750 | 120 |
| | 1.5 | 400 | 300 |
| | 2.2 | 250 | 300 |
| | 3.7 | 150 | 500 |
| | 5.5 | 100 | 500 |
| | 7.5 | 75 | 780 |
| | 11 | 50 | 1200 |
| | 15 | 40 | 1560 |

本实例选用的制动电阻为波纹电阻，如图8-10所示，阻值为75Ω、功率为780W。



图8-10　波纹电阻

2. 分配I/O地址通道

分析控制要求，首先确定I/O个数，进行I/O分配。本实例需要7个输入点，6个输出点，如表8-8所示。

**表8-8　I/O分配表**

| 输　入 | | | 输　出 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作用 | 输入元件 | 输入点 | 输出点 | 输出元件 | 作用 |
| 急停按钮 | SB1 | X0 | Y0 | | 接变频器端子5、正转 |
| 上升按钮 | SB2 | X1 | Y1 | | 接变频器端子6、反转 |
| 下降按钮 | SB3 | X2 | Y2 | | 接变频器端子7、段速1 |
| 下限位 | SQ1 | X3 | Y3 | | 接变频器端子8、段速2 |
| 第一速度 | SQ2 | X4 | Y4 | | 上升指示、HL1 |
| 第二速度 | SQ3 | X5 | Y5 | | 下降指示、HL2 |
| 上限位 | SQ4 | X6 | | | |

3. 设计并绘制电气原理接线图

升降机自动控制系统主要由三菱FX2N-32MR系列PLC、三菱FR-A740变频器和三相笼型异步电动机组成，控制系统电气原理如图8-11所示。由于升降机在下降过程中会发生回馈制动，所以变频器外接制动电阻。图中QF1为断路器，具有隔离、过电流、欠电压等保护作用。急停按钮SB1、上升按钮SB2、下降按钮SB3根据操作方便可安装在底部和顶部，或者两地都安装，操作时，只需按下SB2或SB3，系统就可自动实现程序控制。

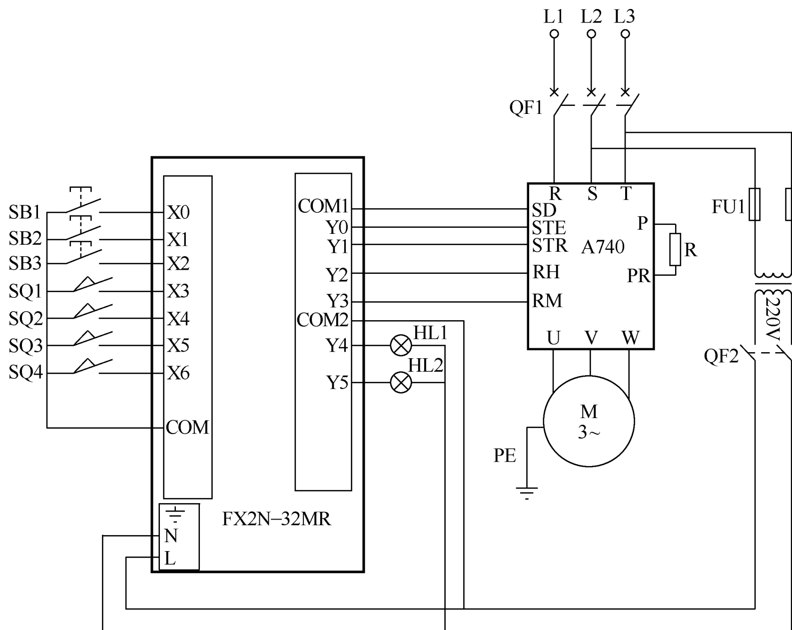



图8-11　控制系统电气原理图

对于系统所要求的提升和下降，以及由限位开关获取吊笼运行的位置信息，通过 PLC 内部程序的处理后，在 Y0、Y1、Y2、Y3 端输出相应的“0”、“1”信号来控制变频器输入端子的端子状态，使变频器及时按图 8-9 所示输出相应的频率，从而控制升降机的运行特性。当 PLC 输出端 Y2 的状态为“1”，Y0 状态为“1”时，变频器输出第一速度频率，升降机以 10Hz 对应的转速上升。当 Y2、Y3 的状态为“01”时，继续保持 Y0 接通，变频器输出第二速度频率，升降机以 30Hz 对应的转速上升；当 PLC 输出端 Y2 的状态为“1”，Y1 状态为“1”时，变频器升降机以 10Hz 对应的转速下降。当 Y2、Y3 的状态为“01”时，继续保持 Y1 接通，变频器输出第二速度频率，升降机以 30Hz 对应的转速下降。

4. PLC 程序设计

编制顺序功能图如图 8-12 所示。

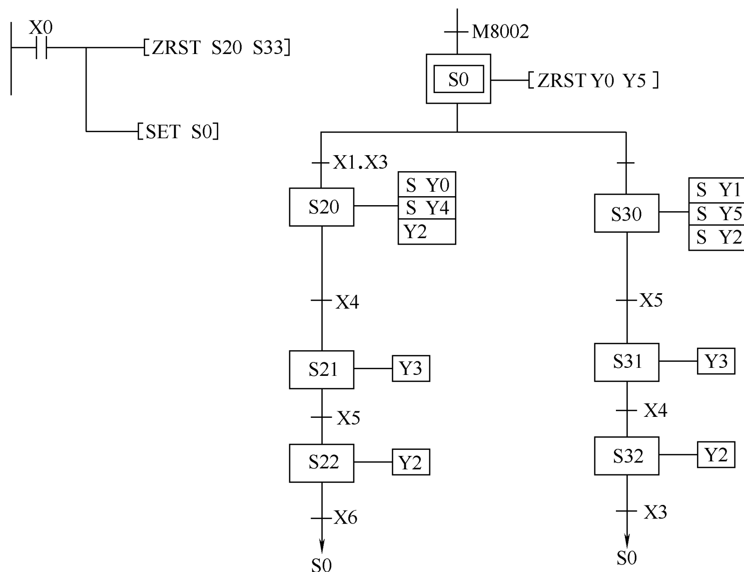



图 8-12 顺序功能图

5. 系统的安装与调试

（1）常用的工具和材料准备（见表 8-9）

**表 8-9 电器元件及材料**

| 序 号 | 分类 | 名 称 | 型 号 规 格 | 数 量 | 备 注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 工具 | 电工工具 | | 1 套 | |
| 2 | 器材 | 万用表 | MF47 型或自定 | 1 块 | |
| 3 | | 变频器 | A740，7.5kW | 1 台 | |
| 4 | | PLC | FX2N-32MR | 1 台 | |
| 5 | | 配电盘 | 500mm×600mm | 1 块 | |
| 6 | | 导轨 | C45 | 1m | |
| 7 | | 自动断路器 | DZ47-63/3P D40<br>DZ47-63/2P D10 | 各 1 只 | |

（续）

| 序　号 | 分类 | 名　　称 | 型号规格 | 数　量 | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 器材 | 三相异步电动机 | 型号自定 | 1台 | |
| 9 | | 熔断器 | RT18，10A | 2只 | |
| 10 | | 制动电阻 | 75Ω，780W | 1只 | |
| 11 | | 控制变压器 | 100VA，380/220 | 1只 | |
| 12 | | 指示灯 | 型号自定 | 2只 | |
| 13 | | 按钮 | 型号自定 | 2只 | |
| 14 | | 急停按钮 | 型号自定 | 1只 | |
| 15 | | 限位开关 | 型号自定 | 4只 | |
| 16 | | 端子排 | D-10 30A/10A | 各2根 | |
| 17 | | 铜塑线 | BVR1.5/2.5$mm^2$ | 若干 | |
| 18 | | 紧固件 | 螺钉（型号自定） | 若干 | |
| 19 | | 线槽 | 25mm×35mm | 若干 | |
| 20 | | 号码管 | | 若干 | |
| 21 | | 计算机 | 自定 | 1台 | |
| 22 | | 编程软件 | GX Developer Ver·8 | 1套 | |

（2）变频器、PLC的安装与配线

根据原理图、变频器和PLC使用手册，进行安装与配线，并符合工艺技术要求。

变频器在实际运行中会产生较强的电磁干扰，为保证PLC不因为变频器主电路断路器及开关元件等产生的噪声而出现故障，故将变频器与PLC相连接时应该注意以下几点：

1）对PLC本身应按规定的接线标准和接地条件进行接地，而且应注意避免和变频器使用共同的接地线，且在接地时使两者尽可能分开。

2）当电源条件不太好时，应在PLC的电源模块及输入/输出模块的电源线上接入噪声滤波器、电抗器和能降低噪声用的元件等，另外，若有必要，在变频器输入一侧也应采取相应的措施。

3）当把变频器和PLC安装于同一操作柜中时，应尽可能使与变频器有关的电线和与PLC有关的电线分开，并通过使用屏蔽线和双绞线达到提高抗噪声干扰的水平。

（3）变频器参数设置

**重点提示：**接通电源后，先进行恢复变频器工厂默认值。

1）电动机参数设置如表8-10所示。为了使电动机与变频器相匹配，需要设置电动机参数。

**表8-10　电动机参数表**

| 参　数　号 | 设　定　值 | 功能说明 |
|---|---|---|
| Pr.80 | 15kW | 电动机容量 |
| Pr.81 | 4极 | 电动机磁极数 |
| Pr.82 | 15A | 电动机励磁电流 |

（续）

| 参　数　号 | 设　定　值 | 功 能 说 明 |
|---|---|---|
| Pr. 83 | 380V | 电动机额定电压 |
| Pr. 84 | 50Hz | 电动机额定频率 |
| Pr. 9 | 15A | 电动机额定电流 |

2）控制参数设置如表 8-11 所示。

**表 8-11　变频器设置参数表**

| 参　数　号 | 设　置　值 | 功 能 说 明 |
|---|---|---|
| Pr. 1 | 50Hz | 上限频率 |
| Pr. 2 | 0Hz | 下限频率 |
| Pr. 3 | 50Hz | 基本频率 |
| Pr. 4 | 10 | 第一速度 |
| Pr. 5 | 30 | 第二速度 |
| Pr. 7 | 1s | 加速时间 |
| Pr. 8 | 1s | 减速时间 |
| Pr. 79 | 3 | 组合模式 1 |

（4）调试运行

1）按照要求设置变频器参数，并正确输入 PLC 程序。

2）PLC 程序模拟调试，观察 PLC 的各种信号动作是否正确，否则修改程序，直到正确。

3）空载调试。当 PLC 与变频器连接好后，不接电动机，即变频器处于空载状态。通过模拟各种信号来观察变频器运行是否符合要求，否则检查接线、变频器参数、PLC 程序等，直到变频器按要求运行。

4）现场调试。正确连接好全部设备，进行现场系统调试。当吊笼在底部位置，且 SQ1 常开触点闭合时，按下 SB2，电动机以第一速度缓慢上升，到达 SQ2、SQ3 位置时，依次以快速、慢速上升。下降时与此类似，当遇到紧急情况时，按下 SB1，升降机会停在任意位置。

# 附　　录

# PLC 功能指令简表

| 分　　类 | 编　号 | 助记符 | 指 令 名 称 | 适 用 机 型 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | FX0N | FX1S | FX1N | FX2N | FX2NC |
| 程序流向控制指令 | 0 | CJ | 条件跳转 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 1 | CALL | 子程序调用 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 2 | SERT | 子程序返回 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 3 | IRET | 中断返回 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 4 | EI | 允许中断 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 5 | DI | 禁止中断 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 6 | FEND | 主程序结束 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 7 | WDT | 警戒时钟 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 8 | FOR | 循环开始 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 9 | NEXT | 循环结束 | √ | √ | √ | √ | √ |
| 数据比较及传送指令 | 10 | CMP | 比较 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 11 | ZCP | 区间比较 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 12 | MOV | 传送 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 13 | SMOV | 移位传送 | × | × | × | √ | √ |
| | 14 | CML | 取反传送 | × | × | × | √ | √ |
| | 15 | BMOV | 块传送 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 16 | FMOV | 多点传送 | × | × | × | √ | √ |
| | 17 | XCH | 数据交换 | × | × | × | √ | √ |
| | 18 | BCD | BCD 码转换 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 19 | BIN | 二进制码转换 | √ | √ | √ | √ | √ |
| 四则运算及逻辑运算指令 | 20 | ADD | 二进制加法 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 21 | SUB | 二进制减法 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 22 | MUL | 二进制乘法 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 23 | DIV | 二进制除法 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 24 | INC | 二进制加 1 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 25 | DEC | 二进制减 1 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 26 | WAND | 逻辑与 | √ | √ | √ | √ | √ |

（续）

| 分类 | 编号 | 助记符 | 指令名称 | 适用机型 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | FX0N | FX1S | FX1N | FX2N | FX2NC |
| 四则运算及逻辑运算指令 | 27 | WOR | 逻辑或 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 28 | WXOR | 异或 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 29 | NEG | 求补 | × | × | × | √ | √ |
| 循环及移位指令 | 30 | ROR | 循环右移 | × | × | × | √ | √ |
| | 31 | ROL | 循环左移 | × | × | × | √ | √ |
| | 32 | RCR | 带进位循环右移 | × | × | × | √ | √ |
| | 33 | RCL | 带进位循环左移 | × | × | × | √ | √ |
| | 34 | SFTR | 位右移 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 35 | SFTL | 位左移 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 36 | WSFR | 字右移 | × | × | × | √ | √ |
| | 37 | WSFL | 字左移 | × | × | × | √ | √ |
| | 38 | SFWR | 先进先出（FIFO）写入 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 39 | SFRD | 先进先出（FIFO）读出 | × | √ | √ | √ | √ |
| 数据处理指令 | 40 | ZRST | 成批复位 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 41 | DECO | 解码 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 42 | ENCO | 编码 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 43 | SUM | 置1位数总和 | × | × | × | √ | √ |
| | 44 | BON | 置1位数判别 | × | × | × | √ | √ |
| | 45 | MEAN | 平均值 | × | × | × | √ | √ |
| | 46 | ANS | 信号报警器置位 | × | × | × | √ | √ |
| | 47 | ANR | 信号报警器复位 | × | × | × | √ | √ |
| | 48 | XCH | 二进制平方根 | × | × | × | √ | √ |
| | 49 | FTL | 二进制整数转换为二进制浮点 | × | × | × | √ | √ |
| 高速处理指令 | 50 | REF | I/O刷新 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 51 | REFF | 输入滤波时间常数调整 | × | × | × | √ | √ |
| | 52 | MTR | 矩阵输入 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 53 | HSCS | 高速计数器置位 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 54 | HSCR | 高速计数器复位 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 55 | HSZ | 高速计数区间比较 | × | × | × | √ | √ |
| | 56 | SPD | 速度检测 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 57 | PLSY | 脉冲输出 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 58 | PWM | 脉宽调制 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 59 | PLSR | 可调脉冲输出 | × | √ | √ | √ | √ |
| 方便指令 | 60 | IST | 状态初始化 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 61 | SER | 数据检索 | × | × | × | √ | √ |

（续）

| 分　　类 | 编　号 | 助记符 | 指 令 名 称 | 适 用 机 型 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | FX0N | FX1S | FX1N | FX2N | FX2NC |
| 方便指令 | 62 | ABSD | 绝对值式凸轮顺控 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 63 | INCD | 增量式凸轮顺控 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 64 | TTMR | 示教定时器 | × | × | × | √ | √ |
| | 65 | STMR | 特殊定时器 | × | × | × | √ | √ |
| | 66 | ALT | 交替输出 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 67 | RAMP | 谐波信号输出 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 68 | ROTC | 旋转工作台 | × | × | × | √ | √ |
| | 69 | SOTR | 数据整理排列 | × | × | × | √ | √ |
| 外部 I/O 设备指令 | 70 | TKY | 十键输入 | × | × | × | √ | √ |
| | 71 | HKY | 十六键输入 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 72 | DSW | 数字开关 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 73 | SEGD | 七段译码 | × | × | × | √ | √ |
| | 74 | SEGL | 带锁存七段译码显示 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 75 | ARWS | 方向开关 | × | × | × | √ | √ |
| | 76 | ASC | ASCII 码转换 | × | × | × | √ | √ |
| | 77 | PR | ASCII 码打印输出 | × | × | × | √ | √ |
| | 78 | FROM | 读特殊功能模块 | √ | √ | √ | √ | √ |
| | 79 | TO | 写特殊功能模块 | √ | √ | √ | √ | √ |
| 外部（SER）设备指令 | 80 | RS | 串行数据传送 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 81 | PRUN | 并行数据传送 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 82 | ASCI | 十六进制转换为 ASCII 码 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 83 | HEX | ASCII 码转换为十六进制 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 84 | CCD | 校验码 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 85 | VRRD | 模拟量读出 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 86 | VRSC | 模拟量开关设定 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 88 | PID | PID 运算 | × | √ | √ | √ | √ |
| 浮点运算指令 | 110 | ECMP | 二进制浮点比较指令 | × | × | × | √ | √ |
| | 111 | EZCP | 二进制浮点区间比较指令 | × | × | × | √ | √ |
| | 118 | EBCD | 二进制浮点转换为十进制浮点 | × | × | × | √ | √ |
| | 119 | EBIN | 十进制浮点转换为二进制浮点 | × | × | × | √ | √ |
| | 120 | EADD | 二进制浮点加法 | × | × | × | √ | √ |
| | 121 | ESUB | 二进制浮点减法 | × | × | × | √ | √ |
| | 122 | EMUL | 二进制浮点乘法 | × | × | × | √ | √ |
| | 123 | EDIV | 二进制浮点除法 | × | × | × | √ | √ |
| | 127 | ESQR | 二进制浮点开方 | × | × | × | √ | √ |

（续）

| 分　类 | 编　号 | 助记符 | 指 令 名 称 | 适 用 机 型 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | FX0N | FX1S | FX1N | FX2N | FX2NC |
| 浮点运算指令 | 129 | INT | 二进制浮点转换为二进制整数 | × | × | × | √ | √ |
| 浮点运算指令 | 130 | SIN | 浮点 SIN 运算 | × | × | × | √ | √ |
| | 131 | COS | 浮点 COS 运算 | × | × | × | √ | √ |
| | 132 | TAN | 浮点 TAN 运算 | × | × | × | √ | √ |
| | 147 | SWAP | 高低位变换 | × | × | × | √ | √ |
| 点位控制指令 | 155 | ABS | 当前绝对位值读取 | × | √ | √ | × | × |
| | 156 | ZRN | 回原点 | × | √ | √ | × | × |
| | 157 | PLSV | 变速脉冲输出 | × | √ | √ | × | × |
| | 158 | DRVI | 增量驱动 | × | √ | √ | × | × |
| | 159 | DRVA | 绝对位置驱动 | × | √ | √ | × | × |
| 时钟运算指令 | 160 | TCMP | 时钟数据比较 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 161 | TZCP | 时钟数据区间比较 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 162 | TADD | 时钟数据加法 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 163 | TSUB | 时钟数据减法 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 166 | TRD | 时钟数据读出 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 167 | TWR | 时钟数据写入 | × | √ | √ | √ | √ |
| | 169 | HOUR | 计时仪 | × | √ | √ | × | × |
| 格雷码指令 | 170 | GRY | 格雷码变换 | × | × | × | √ | √ |
| | 171 | GBIN | 格雷码逆变换 | × | × | × | √ | √ |
| | 176 | RD3A | 模拟块读出 | × | × | √ | × | × |
| | 177 | WR3A | 模拟块写入 | × | × | √ | × | × |
| 触点比较指令 | 224 | LD = | [S1] = [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 225 | LD > | [S1] > [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 226 | LD < | [S1] < [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 228 | LD< > | [S1] ≠ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 229 | LD≤ | [S1] ≤ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 230 | LD≥ | [S1] ≥ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 232 | AND = | [S1] = [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 233 | AND > | [S1] > [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 234 | AND < | [S1] < [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 236 | AND< > | [S1] ≠ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 237 | AND≤ | [S1] ≤ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 238 | AND≥ | [S1] ≥ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 240 | OR | [S1] = [S2] | × | √ | √ | √ | √ |

（续）

| 分　　类 | 编　号 | 助记符 | 指令名称 | 适用机型 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | FX0N | FX1S | FX1N | FX2N | FX2NC |
| 触点比较指令 | 241 | OR > | [S1] > [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 242 | OR < | [S1] < [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 244 | OR < > | [S1] ≠ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 245 | OR≤ | [S1] ≤ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |
| | 246 | OR≥ | [S1] ≥ [S2] | × | √ | √ | √ | √ |

# 电工电子名家畅销书系

| 书 名 | 作者（主编） |
| --- | --- |
| 图解电工口诀 | 才家刚 |
| 图解电工基础 | 郎永强 |
| 图解电工技能入门 | 杨清德 |
| 图解维修电工技能一点通 | 黄海平 |
| 图解家装电工技能一点通 | 周志敏 |
| 图解当代电工室内电气配线与布线一点通 | 流　耘 |
| 图解电动机使用入门与技巧 | 孙克军 |
| 图解低压电工上岗跟我学（双色版） | 秦钟全 |
| 双色图解电工识图入门 | 郑凤翼 |
| 双色图解万用表检测电子元器件 | 韩雪涛 |
| 双色图解电子元器件核心知识与选用 | 胡　斌 |
| 图解电子电路一点通 | 姜有根 |
| 图解万用表使用从入门到精通 | 孙立群 |
| 图解LED应用从入门到精通 | 刘祖明 |
| 图解小家电维修从入门到精通 | 阳鸿钧 |
| 图解液晶彩色电视机检修从入门到精通 | 杨成伟 |
| 图解液晶彩电开关电源维修技能快训 | 张新德 |
| 图解电动自行车/三轮车维修从入门到精通 | 刘遂俊 |
| 全彩图解空调器维修从入门到精通 | 李志锋 |
| 图解PLC技术问答 | 张运刚 |
| 图解变频器技术问答 | 咸庆信 |
| 图解PLC技术一点通 | 李长军 |
| 图解数控技术一点通 | 李方园 |
| 图解变频器使用与电路检修 | 蔡杏山 |
| 电工电子实用电路365例 | 王兰君 |
| 简明实用电工查算手册 | 方大千 |
| 常见电气故障排除技术技能手册 | 白玉岷 |

**地址：北京市百万庄大街22号**
**邮政编码：100037**
**电话服务**
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
**网络服务**
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导　工业技术/自动化技术
ISBN 978-7-111-43994-3
策划编辑◎徐明煜

ISBN 978-7-111-43994-3

定价：39.90元